

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
POSGRADO CONJUNTO EN CIENCIA ANIMAL
FACULTAD DE AGRONOMÍA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA



DETERMINACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE GAS *in vitro*
Y VALOR NUTRICIONAL DE FORRAJES Y SUPLEMENTOS
PARA OVINOS Y CAPRINOS

TESIS

QUE PRESENTA

Ing. Agr. Zoot. VÍCTOR MANUEL PERRUSQUÍA TEJEIDA

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIA ANIMAL

GRAL. ESCOBEDO, NUEVO LEÓN, MÉXICO

JUNIO 2021

**DETERMINACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE GAS *in vitro*
Y VALOR NUTRICIONAL DE FORRAJES Y SUPLEMENTOS
PARA OVINOS Y CAPRINOS**

TESIS

Como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRÍA EN CIENCIA ANIMAL

PRESENTA

Ing. Agr. Zoot. VÍCTOR MANUEL PERRUSQUÍA TEJEIDA



Dr. sc. agr. Hugo Bernal Barragán
Director de Tesis



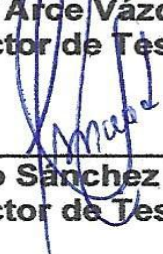
Dra. Nydia Corina Vázquez Aguilar
Co-Directora de Tesis



Ph.D. Humberto González Rodríguez
Co-Director de Tesis



Dr. Néstor Arce Vázquez
Co-Director de Tesis



Dr. Fernando Sánchez Dávila
Co-Director de Tesis



Dra. Estela Garza Brenner
Co-Directora de Tesis

Dedicatoria

A:

Mis padres: Lic. Ana Celia Tejeida Landeros e Ing. Víctor Manuel Perrusquía Nieves, por su apoyo incondicional durante todo este proceso, e impulsarme a seguir adelante en los peores momentos y no dejar que me diera por vencido, además de brindarme su tiempo, amor y cariño cuándo más los necesitaba, por creer siempre en mí y motivarme a cumplir cada una de mis metas acompañándome en todo momento, así como orientarme con su ejemplo por el buen camino de la vida para salir adelante, quiero reiterarles que los amo y admiro profundamente y comparto con ustedes este logro.

Mis hermanas: Lic. Brenda Marcela Perrusquía Tejeida y MVZ. Ana Victoria Perrusquía Tejeida, por apoyarme y motivarme a seguir adelante, por siempre creer en mí y el saber que puedo contar con ustedes en todo momento.

A Dios y a la Virgen, por permitirme llegar hasta donde estoy, por darme fuerzas para seguir adelante, no rendirme y por protegerme en todo momento.

Agradecimientos

Principalmente agradezco a mi asesor de tesis el Dr. Hugo Bernal Barragán, por permitirme formar parte de este proyecto, brindarme su tiempo y paciencia, además de compartirme sus valiosos conocimientos y aconsejarme en la realización del presente trabajo, enriqueciéndome como profesionista y ser humano para ser mejor cada día.

A la Dra. Nydia Corina Vásquez Aguilar, por todo su apoyo, colaboración y gran ayuda en la realización del proyecto, por su tiempo invertido y su paciencia, así como creer en mí desde un principio y motivarme a continuar, por ayudarme a no darme por vencido, por escucharme siempre, aún en los momentos difíciles y la confianza de poder platicarle mis problemas, le doy las gracias por esa gran amistad que me brindó, además de hacer las jornadas de trabajo en el laboratorio más amenas con su humor y amabilidad, contando con su disposición ante cualquier duda.

Al Dr. Néstor Arce Vázquez, por sus valiosas aportaciones y observaciones en el escrito de tesis, por su gran ayuda con el manejo y atención de los animales, por compartirme parte de sus conocimientos y experiencia en los ámbitos de nutrición y zootecnia, además de brindarme su confianza, haciendo el trabajo en campo más agradable.

Al Dr. Humberto González Rodríguez, por su disposición para colaborar conmigo ante cualquier duda o problema durante el trabajo de investigación, por prestarnos la incubadora de producción de gas *in vitro* y las jeringas de vidrio lo cual se le agradece infinitamente, sobre todo sus valiosas aportaciones y sabios consejos brindados en la elaboración de la tesis, además de su pronta respuesta, interés y amabilidad.

Al MC. Emmanuel Segura, por su gran apoyo y contribución en el trabajo de campo y con la colecta de muestras, por compartirme sus conocimientos sobre la parte experimental del proyecto y por su disponibilidad para ayudar y resolver cualquier duda.

Al Dr. Fernando Sánchez Dávila, por su colaboración en el escrito de tesis, por sus consejos, observaciones y aportaciones para mejorar la redacción de la tesis.

A la Dra. Estela Garza Brenner, por formar parte del comité para llevar a cabo la presente tesis y por sus valiosas aportaciones en la realización del presente trabajo.

A MVZ. Lorena Leticia Vázquez Ávila, por apoyarme siempre en todo momento, por brindarme esa sincera amistad desde el inicio, por siempre ayudarnos cuando más lo necesitamos y siempre mantenernos unidos, por motivarme a seguir adelante y estar siempre para mí ante cualquier duda o problema.

A MVZ. Carlos Alfredo Gaona Rodríguez, por brindarme tu ayuda en la realización de la presente investigación, por compartir todos esos buenos y malos momentos, por hacerme compañía siempre en los momentos más difíciles, por hacer el trabajo más ameno con tu compañía.

A MVZ. Frida Carolina Aguilar, MVZ Martha Catalina Cantú, Víctor Manuel Del Real, MVZ Edgar Uriel Cruz, por brindarme su amistad, por alentarme a seguir adelante, por acompañarme en todos esos buenos y malos momentos y por apoyarme siempre.

A Ing. Víctor Hernández, MVZ. Pilar Rincón, Ing. Alejandra Díaz, Ing. Norma García, MVZ. Alexis Solís, por su ayuda en la realización del presente trabajo, por su valiosa amistad y compañía.

A MC. Isabel Salazar García, por motivarme para estudiar el posgrado, por siempre creer en mí, así como apoyarme y orientarme con tus conocimientos.

Al Posgrado conjunto Agronomía- Veterinaria, a la Unidad Académica Marín, al Laboratorio de Nutrición y Calidad de los Alimentos, al Centro de Exposiciones Agropecuarias de la UANL por permitirme utilizar sus instalaciones.

A CONACYT y PAICYT (UANL), por su apoyo económico para la realización del presente trabajo de investigación.

Abreviaturas

Ch prieto	Chaparro prieto
CN	Cáscara de naranja
CNE	Carbohidratos no estructurales
DIVMO	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia orgánica
DIVMS	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca
EE	Extracto etéreo
EEM	Error estándar de la media
EM	Energía metabolizable
FC	Fibra cruda
FDA	Fibra detergente ácido
FDN	Fibra detergente neutro
GS	Grano de sorgo
Hemicel.	Hemicelulosa
HS	Harina de soya
Kcal	Kilocalorías
LAD	Lignina ácido detergente
MO	Materia orgánica
MS	Materia seca
P	Valor de P
PC	Proteína cruda
PG24h	Producción de gas a las 24 horas de incubación

Índice

	Índice	vii
	Índice de cuadros	x
	Resumen	xiii
1.	Introducción	1
2.	Revisión de literatura	2
2.1	Sistemas de evaluación de alimentos para ovinos y caprinos	2
2.2	Valor nutricional de pastos de acuerdo con su desarrollo fenológico	3
2.3	Valor nutricional del Pasto Buffel (<i>Cenchrus ciliaris</i> L.)	5
2.4	Valor nutricional de arbustos de acuerdo con su desarrollo fenológico	6
2.5	Utilización del huizache (<i>Acacia farnesiana</i>)	9
2.6	Utilización del Chaparro Prieto (<i>Acacia rigidula</i>)	10
2.7	Alternativas de suplementación	11
2.8	Valor nutricional del grano de sorgo	14
2.9	Valor nutricional de la harina de soya	16
2.10	Valor nutricional de la cáscara de naranja	18
2.11	Método de producción de gas <i>in vitro</i>	20
2.12	Método de digestibilidad <i>in vitro</i>	24
2.13	Energía metabolizable	24
2.14	Objetivos	25
2.15	Objetivo general	25
2.16	Objetivos específicos	25
2.17	Hipótesis	25
3.	Materiales y métodos	26
3.1	Forrajes	26
3.2	Suplementos	26
3.3	Dietas experimentales	27

3.4	Análisis para determinar composición química	28
3.5	Producción de gas <i>in vitro</i>	29
3.6	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca (DIVMS)	30
3.7	Contenido de energía metabolizable	30
3.8	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia orgánica (DIVMO)	31
3.9	Análisis estadístico	31
4.	Resultados	32
4.1	Forrajes	32
4.1.1	Análisis del valor nutricional de los forrajes evaluados	32
4.1.2	Producción de gas, digestibilidad y energía metabolizable de los forrajes evaluados	33
4.2	Suplementos	34
4.2.1	Análisis del valor nutricional de los suplementos evaluados	34
4.2.2	Producción de gas, digestibilidad y energía metabolizable de los suplementos evaluados	35
4.3	Dietas experimentales	37
4.3.1	Análisis del valor nutricional de las dietas experimentales	37
4.3.1.1	Efecto de la adición de tres tipos de suplementos sobre la composición química (% MS) de dietas a base de pasto Buffel	37
4.3.1.2	Efecto de la adición de tres tipos de suplementos sobre la composición química (% MS) de dietas elaboradas a base de Huizache	38
4.3.1.3	Efecto de la adición de tres tipos de suplementos sobre la composición química (% MS) de dietas elaboradas a base de Chaparro prieto	40
4.3.2	Producción de gas, digestibilidad y energía metabolizable de las dietas experimentales	41
4.3.2.1	Producción de gas, digestibilidad y energía metabolizable de dietas elaboradas a base de pasto Buffel	41

4.3.2.2	Producción de gas, digestibilidad y energía metabolizable de dietas elaboradas a base Huizache	42
4.3.2.3	Producción de gas, digestibilidad y energía metabolizable de dietas elaboradas a base de Chaparro prieto	43
5.	Discusión	45
5.1	Forrajes	45
5.1.1	Análisis del valor nutricional de los forrajes evaluados	45
5.1.2	Producción de gas, digestibilidad y energía metabolizable de los forrajes evaluados	49
5.2	Suplementos	51
5.2.1	Análisis del valor nutricional de los suplementos evaluados	51
5.2.2	Producción de gas, digestibilidad y energía metabolizable de los suplementos evaluados	53
5.3	Dietas experimentales	54
5.3.1	Análisis del valor nutricional de dietas experimentales	54
5.3.2	Producción de gas, digestibilidad y energía metabolizable de las dietas experimentales	55
6.	Conclusiones	57
7.	Bibliografía	58

Índice de cuadros

Cuadro 1.	Composición química (g/100g MS) de pastos según su etapa fenológica bajo condiciones controladas (Coppa <i>et al.</i> , 2015).	4
Cuadro 2.	Composición química (g/kg de materia seca) en pasto Buffel (<i>Cenchrus ciliaris</i> L.) de acuerdo a su intervalo de corte y la estación del año (González <i>et al.</i> , 1998).	6
Cuadro 3.	Composición química (% MS) de las hojas de diferentes especies arbustivas cosechadas en tres etapas fenológicas (Kökten <i>et al.</i> , 2012).	8
Cuadro 4.	Composición química de los tratamientos (g/kg MS) (Avilés <i>et al.</i> , 2013).	12
Cuadro 5.	Consumo de suplementos, romerillo y heno (g/kg MS/peso/día) de acuerdo al tipo de suplemento (Lira <i>et al.</i> , 2020).	13
Cuadro 6.	Composición química (g/kg MS) de pastos y grano de sorgo (Aguerre <i>et al.</i> , 2013).	16
Cuadro 7.	Composición química (g/880 g MS) de harinas de soya comerciales provenientes de Argentina, Brasil, EU e India (Ibáñez <i>et al.</i> , 2020).	18
Cuadro 8.	Composición química (g/kg MS) de diferentes subproductos de la naranja (Bampidis y Robinson, 2006).	19
Cuadro 9.	Efecto de la inclusión con diferentes niveles (g/kg) de <i>Acacia farnesiana</i> sobre la producción de gas <i>in vitro</i> (Velázquez <i>et al.</i> , 2011).	22
Cuadro 10.	Efectos de suplementar con monensina sódica y corteza de raíz de <i>Moringa oleífera</i> sobre la producción de gas y metano (Soltan <i>et al.</i> , 2017).	23
Cuadro 11.	Elaboración de dietas experimentales.	27

Cuadro 12.	Contenido de cenizas, grasa, proteína y fracciones de fibra (% MS) de los forrajes (pasto Buffel, huizache y chaparro prieto).	32
Cuadro 13.	Valores medios de PG 24h, DIVMS, EM y DIVMO de los forrajes (pasto Buffel, huizache y chaparro prieto).	34
Cuadro 14.	Contenido de cenizas, grasa, proteína y fracciones de fibra (% MS) de los suplementos (Grano de sorgo, Harina de soya y Cáscara de naranja).	34
Cuadro 15.	Valores medios de PG 24h, DIVMS, EM y DIVMO de los suplementos (grano de sorgo, harina de soya y cáscara de naranja).	35
Cuadro 16.	Composición química (% base seca) en muestras de Pasto Buffel y en dietas elaboradas con 90% de pasto Buffel, y 10% de los correspondientes suplementos (grano de sorgo, harina de soya y cáscara de naranja).	37
Cuadro 17.	Composición química (% base seca) en muestras de huizache y en dietas elaboradas con 90% de Huizache y 10% de los correspondientes suplementos (grano de sorgo, harina de soya y cáscara de naranja).	38
Cuadro 18.	Composición química (% base seca) en muestras de chaparro prieto y en dietas elaboradas con 90% de Chaparro prieto, y 10% de los correspondientes suplementos (grano de sorgo, harina de soya y cáscara de naranja).	40
Cuadro 19.	Valores medios de PG 24h, DIVMS, EM y DIVMO, en muestras de Pasto Buffel y en 3 dietas elaboradas con 90% de Pasto Buffel, y 10% de los suplementos correspondientes (grano de sorgo, harina de soya y cáscara de naranja).	41
Cuadro 20.	Valores medios de PG 24h, DIVMS, EM, DIVMO, en muestras de huizache y en 3 dietas con 90% de huizache	42

adicionadas con el 10% de los suplementos (grano de sorgo, harina de soya y cáscara de naranja).

Cuadro 21.	Valores medios de PG 24h, DIVMS, EM y DIVMO en muestras de Chaparro prieto y en 3 dietas con 90% de Chaparro prieto adicionadas con el 10% de los suplementos (grano de sorgo, harina de soya y cáscara de naranja).	43
-------------------	--	-----------

Resumen

Se realizó un experimento con el objetivo de caracterizar el valor nutricional de dietas elaboradas a base de forrajes convencionales del Noreste de México y suplementos comúnmente utilizados para la alimentación de pequeños rumiantes. Se colectaron seis muestras de pasto Buffel (*Cenchrus ciliaris*), y de las arbustivas Chaparro prieto (*Acacia rigidula*) y Huizache (*Acacia farnesiana*), emulando el comportamiento observado de pastoreo de ovinos y caprinos. De igual manera, se colectaron seis muestras de los suplementos: grano de sorgo, harina de soya y cáscara de naranja. Una vez caracterizado cada forraje y cada suplemento, se formularon nueve dietas experimentales con la inclusión del 10% de cada uno de los suplementos a cada forraje, considerando que conserven los niveles adecuados de fibra. Cada dieta fue repetida seis veces, evaluando su contenido de proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), cenizas, fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina ácido detergente (LAD), digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS), digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO), la producción de gas *in vitro* a las 24 horas de incubación (PG24h) y la energía metabolizable (EM). Los resultados de los forrajes, suplementos y dietas experimentales se analizaron por medio de un ANOVA, bajo un diseño completamente al azar. La incorporación de suplementos grano de sorgo, harina de soya y cáscara de naranja mejoró el valor nutricional y los parámetros de digestibilidad y degradabilidad ruminal *in vitro* de dietas elaboradas a base de forrajes convencionales del Noreste de México. Se observó alta variabilidad en la composición química, digestibilidad *in vitro* y en la producción de gas *in vitro* entre los forrajes, los suplementos y las dietas experimentales.

Abstract

An experiment was carried out with the objective to characterize the nutritional value of diets made from conventional forages from Northeast Mexico and supplements commonly used for feeding small ruminants, six samples were collected of Buffel grass (*Cenchrus ciliaris*), and of the shrubs Blackbrush (*Acacia rigidula*) and Huisache (*Acacia farnesiana*), emulating the observed grazing behavior of sheep and goats. Similarly, six samples of supplements were collected: sorghum grain, soybean meal and orange peel. Once each forage and each supplement had been characterized, nine experimental diets were formulated with the inclusion of 10% of each of the supplements to each forage, considering that they conserve adequate levels of fiber. Each diet was repeated six times, evaluating its content in terms of crude protein (CP), ether extract (EE), ash, neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), acid detergent lignin (ADL), *in vitro* digestibility of dry matter (DIVMS), *in vitro* digestibility of organic matter (OMDI), *in vitro* gas production at 24 hours of incubation (PG24h) and metabolizable energy (ME). The results of the forages, supplements and experimental diets were analyzed by means of an ANOVA, under a completely randomized design. The incorporation of sorghum grain, soybean meal and orange peel supplements improved the nutritional value and the *in vitro* ruminal digestibility and degradability parameters of diets made from conventional forages from Northeastern Mexico. High variability in chemical composition, *in vitro* digestibility and *in vitro* gas production was observed between forages, supplements and experimental diets.

1. Introducción

En el Noreste de México se registra gran variabilidad climatológica a lo largo del año, la cual repercute en la producción y calidad nutritiva de forrajes y en la productividad de la ganadería.

La producción de biomasa y calidad de los forrajes, constituyen la base de la alimentación del ganado en el Noreste de México, fluctuando durante el año (Martínez, 2004), por lo que el suministro de forraje de buena calidad como fuente de nutrientes y energía para el ganado no siempre está garantizado. El uso de suplementos para la alimentación del ganado es una estrategia que puede ser empleada para complementar la dieta a base de forrajes (Villarreal *et al.*, 2006).

Integrando la información de la composición química, digestibilidad y producción de gas *in vitro*, se podrá tener información más completa de la calidad de los forrajes y suplementos, lo cual favorecerá el adecuado conocimiento del valor nutritivo de los alimentos y poder, así, diseñar dietas más eficientes.

La determinación de la caracterización química, de los parámetros de digestibilidad y de degradabilidad ruminal *in vitro* de los alimentos, permitirá predecir el aprovechamiento de los mismos y estimar el contenido energético.

Adicional al conocimiento de la composición química de los alimentos para animales, el uso de técnicas *in vitro*, como la producción de gas (Menke y Steingass, 1988) permite caracterizar y detectar variaciones en la calidad nutritiva de forrajes y subproductos agroindustriales para consumo pecuario (Guerrero *et al.*, 2012).

En el presente estudio se determinó la composición química, parámetros de digestibilidad y degradabilidad ruminal *in vitro* en muestras de pasto Buffel (*Cenchrus ciliaris*), Chaparro prieto (*Acacia rigidula*) y Huizache (*Acacia farnesiana*) colectadas durante el año, así como de muestras de los suplementos grano de sorgo, harina de soya y cáscara de naranja, y de las dietas experimentales elaboradas con los forrajes y cantidades limitadas de los suplementos.

2. Revisión de literatura

2.1 Sistemas de evaluación de alimentos para ovinos y caprinos

La alimentación equilibrada y económica de los pequeños rumiantes es extremadamente importante, ya que la baja producción ganadera se debe en gran medida a la escasez de alimentos y las prácticas de alimentación desequilibradas. Es posible mejorar la relación de beneficio económico respecto a los costos de alimentación mezclando cantidades limitadas de suplementos concentrados que incluyan también subproductos agroindustriales localmente disponibles, y en conjunto con el forraje formar una dieta completa (Beigh *et al.*, 2017).

Los sistemas de evaluación de alimentos brindan información útil para contribuir al logro de tener una alimentación completa, en la que también sea posible emplear residuos de cultivos fibrosos, como una manera de aumentar el consumo de la dieta y la utilización de los alimentos localmente disponibles, incrementando por lo tanto, el rendimiento de la producción animal. Ejemplo de ello es el sistema de alimentación conocido como Total Mixed Ration (TMR, por sus siglas en inglés), por medio del cual se ha incrementado el uso de subproductos agroindustriales (Beigh *et al.*, 2017).

De acuerdo a Regadas *et al.* (2014), el valor nutricional de los alimentos para pequeños rumiantes tiene relación directa con el tiempo de retención del alimento en el tracto gastrointestinal, de la especie animal, estadio fisiológico, peso corporal, consumo de materia seca y muchos otros factores que pueden afectar la disponibilidad y la digestibilidad de los alimentos que consumen.

La forma en que se pueden evaluar las interacciones entre variables ambientales y fisiológicas propias de los animales es utilizar un método integral, como el Sistema de Nutrición para Pequeños Rumiantes (SRNS, por sus siglas en inglés) (Tedeschi *et al.*, 2010), que ha sido desarrollado recientemente para determinar diferentes aspectos de la nutrición en pequeños rumiantes. El SRNS basa su cálculo lógico para determinar el suministro dietético de energía y nutrientes en el Sistema Neto de Carbohidratos y Proteínas de Cornell (CNCPS, por sus siglas en inglés), y sus tasas de degradación ruminal para el ganado (Fox *et al.*, 2004) y ovinos (Cannas *et*

al., 2004). El modelo llamado Sistema de Nutrición de Pequeños Rumiantes utiliza características de los animales y de factores ambientales, para predecir requerimientos de energía, proteína, calcio y fósforo (Cannas *et al.*, 2006).

La mayoría de los modelos de nutrición matemática actualmente en uso incluyen un submodelo para predecir el consumo de materia seca, determinada por diversos factores que interactúan entre sí, basados en la teoría del control del consumo físico (Forbes, 2007). Otro factor que puede influir en el consumo de alimento por parte de los rumiantes es la estratificación de la fibra ruminal, que puede ocurrir cuando los rumiantes consumen cantidades altas en fibra (Regadas *et al.*, 2014).

2.2 Valor nutricional de pastos de acuerdo con su desarrollo fenológico

En el Noreste de México, las condiciones climatológicas modifican la calidad nutritiva del forraje a lo largo del año y, en consecuencia, la calidad de la dieta de ganado en pastoreo (Murillo *et al.*, 2012). La inadecuada y baja calidad del forraje en algunas épocas del año, compromete la productividad de la ganadería (Yang *et al.*, 2019). Por ello es importante considerar forrajes alternativos, con gran potencial de digestibilidad, a buen costo y alto contenido proteico (Yang *et al.*, 2019).

Con el desarrollo fenológico de los pastos, se presentan cambios en su composición química, los cuales provocan variaciones en el valor nutricional. Coppa *et al.* (2015), evaluaron la variabilidad nutricional que sufrían tres tipos de pastos (de temporada, pastos moderadamente biodiversificados y pastos altamente diversificados) durante dos diferentes etapas fenológicas (Alargamiento de tallo e Inicio de floración; Cuadro 1).

En los tres tipos de pastos estudiados, los contenidos de materia seca, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido aumentaron, mientras que el contenido de proteína cruda y la digestibilidad de la materia orgánica disminuyeron en los pastos en etapa de floración, respecto a la etapa de alargamiento de tallo (Cuadro 1). Sin embargo, la disminución en el contenido de PC y de DMO fue numéricamente más notoria en el caso de los pastos de temporada (Coppa *et al.*, 2015).

Cuadro 1. Composición química (g/100 g MS) de pastos según su etapa fenológica bajo condiciones controladas (Coppa *et al.*, 2015).

Parámetro (%)	Pastos de temporada		Pastos moderadamente biodiversificados		Pastos altamente biodiversificados	
	Alargamiento tallo	Inicio floración	Alargamiento tallo	Inicio floración	Alargamiento tallo	Inicio floración
MS	16.8	20.8	21.3	27.4	27.3	33.7
FDN	45.1	50.4	43.3	49.1	45.0	50.4
FDA	28.4	34.4	27.0	33.3	29.0	33.3
PC	17.8	12.4	15.2	13.1	13.8	13.2
MOD	77.7	71.8	74.0	69.6	74.0	71.9

MOD = Materia orgánica digestible

Los autores (Coppa *et al.*, 2015) reportaron, además, que la fenología de los pastos, así como la proporción de hierba fresca en las dietas de vacas, influyen en la composición de ácidos grasos en la leche.

Mojica *et al.* (2017) y Reyes *et al.* (2018) evaluaron el efecto de la edad de rebrote sobre el valor nutricional en gramíneas tropicales, y observaron que la disminución de la digestibilidad de la MS y la MO asociada con el aumento de la edad y madurez de la planta, puede ser debida al crecimiento y engrosamiento de la pared celular, que reduce el espacio intercelular en donde se encuentran, y la disponibilidad de los principales nutrientes, tales como la proteína. Asimismo, el aumento de componentes estructurales como la lignina, influye sobre la disminución de la digestibilidad de los nutrientes en diversas variedades de pastos.

El contenido de PC es variable en diferentes campos y lugares de cosecha, debido a los factores de fertilidad del suelo y estado fenológico de la planta (Mamani y Cotacallapa, 2018), encontrándose el forraje más palatable cuando tiene mayor contenido de PC y menor contenido de FC. En el caso de los pastos, el porcentaje

de MS tiene una relación moderadamente inversa con el contenido de PC, es decir, a mayor porcentaje de MS, menor contenido de PC. Wadhwa *et al.* (2010), sostienen que el contenido de PC, la palatabilidad y la digestibilidad de MS disminuye con la madurez de la planta.

2.3 Valor nutricional del Pasto Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.)

El pasto Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) es una hierba perenne africana cultivada ampliamente en los pastizales áridos tropicales y subtropicales de todo el mundo, que fue introducida en Estados Unidos, México y Australia en el siglo XX, para mejorar el pastoreo, debido a su capacidad para resistir la sequía, responder rápidamente a las lluvias, y para soportar el pastoreo intenso (Marshall *et al.*, 2012).

El pasto Buffel se adapta bien a regiones subhúmedas y semiáridas, con precipitaciones anuales de entre 350 y 900 mm (González *et al.*, 1998). La propagación del pasto Buffel al sur de Texas y norte de México, en los años cincuenta del siglo XX, revolucionó la ganadería extensiva, al aumentar la productividad forrajera y la carga por unidad animal (García Dessommes *et al.*, 2003).

El pasto Buffel se considera importante para ser utilizado para alimentar a los rumiantes en la región semiárida subtropical, por su abundancia y características nutricionales, además por su potencial productivo y nutricional (Carvalho *et al.*, 2017).

En un estudio realizado por González *et al.* (1998) el pasto Buffel cosechado en los meses de abril-junio, tuvo una mayor concentración de proteína que el cosechado entre septiembre y noviembre (Cuadro 2). La edad o estado de corte también influye en el estado del pasto Buffel al incrementar el contenido de MO entre 21 y 28 días y disminuir la concentración de nitrógeno (proteína) entre los 28 y 35 días de intervalo de corte.

Cuadro 2. Composición química (g/kg de materia seca) en pasto Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) de acuerdo a su intervalo de corte y la estación del año (González *et al.*, 1998).

Parámetro	MO	N	FDN	FDA	LAD	NIAD
Intervalo de corte						
21 días	890 ^a	20.4 ^{ab}	655	352	54	1.00 ^a
28 días	901 ^b	22.1 ^a	673	363	55	1.07 ^{ab}
35 días	905 ^b	17.9 ^b	684	364	56	1.16 ^b
Estación						
Septiembre-Noviembre	899	17.3 ^a	668	368 ^a	55	1.05
Abril-Junio	899	23.0 ^b	673	350 ^b	55	1.11

($P < 0.05$). NIAD = Nitrógeno insoluble ácido detergente; MO = Materia orgánica.

Ramírez *et al.* (2004), evaluaron mensualmente el contenido de minerales del pasto Buffel en el Noreste de México. En la mayoría de los meses del año, había niveles suficientes en el contenido de Ca, Fe y K para cubrir con los requerimientos de ovejas, pero en el caso de Zn y Mn, solamente durante los meses de primavera y otoño, en cambio los contenidos de P y Mg fueron marginalmente deficientes en todas las estaciones del año.

2.4 Valor nutricional de arbustos de acuerdo con su desarrollo fenológico

Los productores de ovinos en México y otros países, dependen de dietas basadas en pastos y forrajes (Macias-Cruz *et al.*, 2010), de calidad nutricional fluctuante durante las diferentes estaciones del año (Avilés *et al.*, 2013). Se tiene información limitada acerca del desempeño de las ovejas con dietas a base de arbustos, pero se han identificado diferentes arbustos y árboles nativos con buen aporte proteico para alimentar ovejas y cabras en zonas áridas y semiáridas (Barros-Rodríguez *et al.*, 2012; Seresinhe *et al.*, 2012).

Los residuos de cereales y leguminosas son un importante recurso alimenticio, aunque eventualmente son deficientes en proteína y en energía digestible, por lo que se considera que los arbustos nativos ricos en proteína, alimentados en combinación con pasto Buffel, podrían mejorar la productividad de los pequeños rumiantes (Ramírez y Ledezma, 1997).

Las especies arbustivas de hoja perenne juegan un papel muy importante en áreas con periodos prolongados de sequías, proporcionando forraje verde para el pastoreo de los rumiantes durante todo el año y/o en periodos críticos del año (Kökten *et al.*, 2012; Chávez Espinoza *et al.*, 2021).

Diversos autores han demostrado el potencial de especies arbustivas para producir follaje palatable y nutritivo, incluso durante la estación seca (Kamalak 2006; Narvaez *et al.*, 2010; Kökten *et al.*, 2012; Chávez Espinoza *et al.*, 2021), por lo que la introducción de especies arbustivas leguminosas a un sistema pastoril podrían ser un medio efectivo para mejorar la calidad general del forraje (Narvaez *et al.*, 2010), de tal forma que el uso de especies de ramoneo como forraje para los animales rumiantes es importante en muchas partes del mundo.

La presencia de taninos y otros compuestos fenólicos en las hojas de los árboles y arbustos pueden reducir su utilización como alimento por los animales (Kökten *et al.*, 2012), ya que altos niveles de taninos en las hojas pueden restringir la utilización de nutrientes y disminuir voluntariamente el consumo de alimento, la digestibilidad de los nutrientes y la retención de nitrógeno (Silanikove *et al.*, 2001).

Diversos autores mencionan que el follaje de especies arbóreas, puede ser una buena alternativa para la alimentación del ganado, debido a que tienen un gran potencial como especies forrajeras (Galeano *et al.*, 2013) por su alto contenido de proteína comparado con las gramíneas y su rendimiento de biomasa (Cabrera *et al.*, 2019).

Las hojas de la mayoría de estas especies de arbustos sirven como alimento para bovinos, equinos, ovinos y caprinos. Algunos también tienen frutos como las vainas que pueden utilizarse en la alimentación animal. Por ello, es importante mencionar

que tanto las hojas como los frutos, pueden tener muy buenas características nutricionales (Pinto *et al.*, 2010).

Kökten *et al.* (2012), evaluaron la composición química y el valor nutricional de las hojas de cuatro diferentes especies arbustivas mediterráneas colectadas en tres diferentes etapas de madurez. Los investigadores reportaron diferencias significativas en la composición química de las hojas cosechadas en las tres diferentes etapas de madurez de las especies arbustivas estudiadas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Composición química (% MS) de las hojas de diferentes especies arbustivas cosechadas en tres etapas fenológicas (Kökten *et al.*, 2012).

Especie de arbusto	Etapas fenológicas	PC	FDN	FDA	TC	Cenizas
<i>Calicotome villosa</i>	Antes de la floración	21.7	41.0	16.4	0.7	3.5
	En floración	18.7	45.3	17.4	1.0	3.5
	En época de fruto	16.2	48.4	23.0	1.0	3.8
	Promedio	18.9	44.9	19.0	0.9	3.6
<i>Quercus coccifera</i>	Antes de la floración	15.5	21.5	16.8	2.3	4.0
	En floración	15.1	25.4	20.3	2.4	4.2
	En época de fruto	6.4	50.5	39.1	6.5	4.4
	Promedio	12.3	32.5	25.4	3.8	4.2
<i>Pistacia terebinthus</i>	Antes de la floración	15.8	10.1	6.9	0.9	2.9
	En floración	24.5	14.2	13.7	5.6	4.5
	En época de fruto	14.9	17.6	16.3	6.9	3.3
	Promedio	18.4	14.0	12.4	4.5	3.6
<i>Leucaena leucocephala</i>	Antes de la floración	33.3	15.41	14.1	3.1	6.8
	En floración	18.8	18.6	15.8	12.8	5.6
	En época de fruto	18.3	19.8	16.5	15.8	6.3
	Promedio	23.4	18.0	15.5	10.6	6.3

TC: Taninos condensados.

Como se puede observar en el Cuadro 3 el contenido de PC de las hojas varió de 6.4 a 33.3%, dependiendo de la especie y la etapa fenológica en la que se encontraba el arbusto. El valor más bajo de proteína se registró en el *Quercus coccifera* en etapa de fructificación, y el valor más alto de proteína se encontró en *Leucaena leucocephala* antes de su floración.

El contenido de PC de las hojas de todas las especies de arbustos estudiadas por Kökten *et al.*, (2012), excepto *Pistacia terebinthus*, colectadas antes de la etapa de floración fue significativamente más alto que las colectadas en floración y fructificación. El contenido de PC de las hojas de los arbustos colectadas antes de la etapa de floración y durante la floración fueron lo suficientemente altas como para justificar su uso como suplementos proteicos en dietas de rumiantes (Kökten *et al.*, 2012).

Arbustos nativos como el huizache (*Acacia farnesiana*) y chaparro prieto (*Acacia rigidula*), se encuentran presentes en todo el norte de México y el sur de Texas (Ramírez y Ledezma, 1997), y son candidatos idóneos para la alimentación de pequeños rumiantes.

2.5 Utilización del huizache (*Acacia farnesiana*)

La región norte de México alberga abundantes especies de plantas bien adaptadas, que tradicionalmente se utilizan como recursos alimenticios para animales. Entre esas especies de vegetación, el género *Acacia* ha sido reportado como un importante recurso forrajero para la alimentación animal (Delgadillo *et al.*, 2019).

El huizache (*Acacia farnesiana*) es particularmente abundante en muchos países y su follaje y frutos pueden ser valiosos por el aporte de energía y proteína en la dieta de los pequeños rumiantes (Zapata *et al.*, 2020).

En el Noreste de México, la producción de pequeños rumiantes se ve afectada en su rentabilidad por escasez de forraje (Arriaga-Jordan *et al.*, 2001). Por tal motivo, la presencia y disponibilidad de arbustos forrajeros como las acacias toma importancia. Sin embargo, los taninos que contienen pueden restringir su aprovechamiento nutricional por parte de los rumiantes (Velázquez *et al.*, 2011),

debido a su reacción para formar complejos con polisacáridos y proteínas, que pueden ser precipitados, reduciendo la fracción degradable y su tasa de degradación al inhibir el crecimiento bacteriano y la actividad enzimática (Min *et al.*, 2003; Frutos *et al.*, 2004).

El huizache es una leguminosa arbustiva perenne con potencial forrajero que puede ser aprovechada como fuente de proteína para dietas de rumiantes (Velázquez *et al.*, 2011). En México, las vainas del huizache representan una alternativa que puede ser de beneficio para los pequeños rumiantes, en el caso de escasa disponibilidad de nutrientes de los sistemas pastoriles durante los periodos de sequía (Velázquez *et al.*, 2011).

Además, el huizache se utiliza como planta medicinal y forraje bioactivo (Zarza *et al.*, 2020) al haber demostrado que esta planta presenta actividad antihelmíntica contra varios parásitos nematodos gastrointestinales del ganado, y también contra parásitos del ser humano, como la malaria.

2.6 Utilización del Chaparro Prieto (*Acacia rigidula*)

Las fluctuaciones en la disponibilidad de pastos en las zonas semiáridas obligan a los productores de pequeños rumiantes a utilizar el follaje y los frutos de árboles leguminosos como alimentos complementarios para mejorar el suministro de nutrientes al ganado en pastoreo mejorando la eficiencia productiva en rumiantes (Zapata *et al.*, 2020).

Las hojas de estos arbustos son comúnmente consumidas por el ganado bovino, ovino y caprino y por algunos cérvidos, como el venado cola blanca (Ramírez *et al.*, 1995) durante todo el año, incluso cuando los pastos y las hierbas bajan en su calidad nutritiva.

Las hojas del chaparro prieto contienen niveles más altos de taninos condensados que el huizache y otros arbustos de la zona. Los taninos condensados pueden formar un complejo con proteínas y pueden afectar negativamente la digestión de N y de la pared celular por los rumiantes (Reed *et al.*, 1990).

Por lo tanto, el uso de estos árboles leguminosos como recurso forrajero en los pastizales podría aumentar la sostenibilidad de la ganadería al proporcionar forraje de alta calidad durante los períodos en que el forraje herbáceo es limitado o de baja calidad (Zapata *et al.*, 2020).

2.7 Alternativas de suplementación

El uso de subproductos agroindustriales como alimento para rumiantes ha sido un tema de interés durante las últimas décadas (Salami *et al.*, 2019). Existe una diversidad de ingredientes que potencialmente podrían sustituir parcial o totalmente los diferentes suplementos convencionales (granos, subproductos de oleaginosas) en las raciones de rumiantes. Por ejemplo, subproductos agroindustriales con alto contenido de energía podrían reemplazar los granos en la ración (Abo *et al.*, 2017), mientras que aquellos con alto contenido de proteína podrían complementar el aporte nutricional del forraje (Salman *et al.*, 2014).

Reportes en literatura indican que cuando un alimento no cubre los requerimientos necesarios (Kiran y Krishnamourthy, 2007), algunas de estas limitaciones de los ingredientes individuales pueden ser subsanadas con adición de suplementos (Winichayakul *et al.*, 2020).

Avilés *et al.* (2013), evaluaron la digestibilidad y el consumo de dietas elaboradas a base de pasto Buffel (*Cenchrus ciliaris*) suplementadas con cuatro niveles de *Gliricidia sepium* en corderos de pelo. La alimentación de los corderos se llevó a cabo en cuatro tratamientos con diferentes niveles de pasto Buffel y de *Gliricidia sepium*. El tratamiento 1 (T1) consistió en: 100% pasto Buffel (grupo control). El tratamiento 2 (T2) en: 90% pasto Buffel y 10% *Gliricidia sepium*, el tratamiento 3 (T3) consistió en: 80% pasto Buffel y 20% *Gliricidia sepium* y el tratamiento 4 (T4) en: 70% pasto Buffel y 30% *Gliricidia sepium*. Los principales resultados reportados por Avilés *et al.* (2013) se encuentran en el Cuadro 4

Cuadro 4. Composición química de los tratamientos (g/kg MS; Avilés *et al.*, 2013). El tratamiento 1 (T1) consistió en: 100% pasto Buffel (grupo control). El tratamiento 2 (T2) en: 90% pasto Buffel y 10% *Gliricidia sepium*, el tratamiento 3 (T3) consistió en: 80% pasto Buffel y 20% *Gliricidia sepium* y el tratamiento 4 (T4) en: 70% pasto Buffel y 30% *Gliricidia sepium*.

Composición química	T1	T2	T3	T4
Materia seca	916	913	911	908
Materia orgánica	898	899	901	902
Minerales	101	100	99	98
Proteína cruda	46	59	73	87
Extracto etéreo	86	86	87	87
Fibra detergente neutro	725	690	655	621
Fibra detergente ácido	524	504	484	463
Hemicelulosa	202	187	172	157
Carbohidratos no estructurales	42	63	85	107

Los resultados presentados en el cuadro 4 indican que los contenidos de Materia seca, Fibra detergente neutro y Fibra detergente ácido disminuyeron, mientras que los contenidos de Materia orgánica y Proteína cruda aumentaron de forma lineal a medida que los niveles de inclusión de *Gliricidia sepium* se incrementaban.

Avilés *et al.*, (2013) reportaron que los consumos de materia seca, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido no se vieron afectados por las adiciones evaluadas de *Gliricidia sepium* en la dieta. En cambio, el consumo de materia orgánica, proteína cruda y energía bruta fue mayor ($P < 0.05$) en los corderos alimentados con la dieta del tratamiento 4, que en los del grupo control (Avilés *et al.*, 2013).

La suplementación con proteína mejora el consumo al incrementar el suministro de nitrógeno a microorganismos ruminales, aumentando con ello la población microbiana y la tasa de degradación (Belanche *et al.*, 2012).

Lira *et al.* (2020), evaluaron el efecto de suplementar nutrientes proteicos y energéticos sobre el consumo de alimento y la digestibilidad aparente de la MS, en

ovejas alimentadas con romerillo (*Chiliotrichum diffusum*). Veintiocho ovejas de un año fueron asignadas aleatoriamente a 4 grupos (7 ovejas por grupo), donde tenían suplementos altos en energía (HE; maíz), altos en proteínas (HP, harina de canola), una elección entre HE y HP (CH), y sin suplemento (Control; C). Todas las ovejas tenían cantidades de romerillo recién cortado a libre acceso y 1% de heno de zacate.

Cuadro 5. Consumo de suplementos, romerillo y heno (g/kg MS/peso/día) de acuerdo al tipo de suplemento (Lira *et al.*, 2020).

Consumo	C	HE	HP	CH
Maíz – HE		5.03		4.45
Harina de canola - HP			2.64	2.31
Consumo (g/kg MS/peso/día)				
Suplemento		5.03 ^b	2.64 ^c	6.76 ^a
Romerillo (<i>Chiliotrichum diffusum</i>)	6.34 ^b	4.58 ^c	8.40 ^a	6.80 ^{ab}
Heno de zacate	10.80 ^a	9.75 ^b	9.95 ^b	9.43 ^b
Total	17.14 ^c	19.37 ^b	20.98 ^b	22.99 ^a

Los autores reportaron (Cuadro 5) que las ovejas suplementadas con HP consumieron más romerillo que las ovejas de los grupos HE o C. El consumo del arbusto de romerillo en el grupo CH también fue mayor que en el grupo HE, y no difirió del grupo C (Lira *et al.*, 2020).

Los altos niveles de consumo de romerillo por las ovejas en el grupo de HP sugirieron que existe un efecto asociativo con el concentrado proteico (harina de canola), el cual posiblemente mejoró la utilización del romerillo lo cual fue asociado con uno de los mayores porcentajes de arbusto en dieta de ovejas. Al no ofrecer suplemento al grupo C, este grupo mostró altos porcentajes de consumo de romerillo en la dieta y los mayores valores de consumo de heno de zacate, pero el menor consumo total de materia seca de alimento. Por el contrario, las ovejas del grupo CH mostraron el mayor consumo total de MS de alimento (Lira *et al.*, 2020).

En los sistemas de producción ovina basados en pastos nativos, la calidad y cantidad de forraje es muy variable (Piaggio *et al.*, 2014), por tal motivo, se recomienda suplementar en temporada de escasez.

Ramos *et al.* (2018) evaluaron si el peso corporal de corderos en sistema de pastoreo de zacates nativos se puede mejorar con suplementos energéticos y proteicos. Los animales fueron asignados aleatoriamente a cuatro tratamientos, y alimentados con pasturas nativas. El grupo control no fue suplementado (CON). Los corderos de tres tratamientos fueron suplementados diariamente en base a 2% de su peso corporal, con un suplemento isoenergético con diferentes niveles de proteína cruda: el grupo 1 se suplementó con 12% PC (12PC); el grupo 2 con 16% PC (16PC) y el grupo 3 con 20% PC (20PC). Los corderos suplementados tuvieron un peso final más alto (36.0, 36.4 y 37.7 kg para 12, 16 y 20 PC, respectivamente) que los corderos del grupo control con (28.9 kg; $P < 0.05$).

2.8 Valor nutricional del grano de sorgo

A diferencia de otros cereales, es menor la utilización del grano de sorgo como material para la producción de etanol como combustible renovable (Trujillo *et al.*, 2017), además compite menos con la alimentación humana y tiene una menor huella de carbono (Cerisuelo *et al.*, 2012; Cai *et al.*, 2013).

Los granos de cereales han sido durante mucho tiempo un componente importante en la dieta de los rumiantes debido a su alto contenido de almidón y por consecuente a su alta densidad energética, contribuyendo a una mejor producción. El grano de sorgo, además de aportar almidón a la dieta, también es una fuente valiosa de proteínas y minerales, especialmente de fósforo (Humer y Zebeli, 2017).

El principal suministro de energía para los rumiantes en producción lo constituye el almidón, proveniente de los cereales contenidos en la dieta, principalmente del maíz, cebada, trigo, triticale, centeno, avena y sorgo. El contenido de almidón de los granos de cereales varía desde 450 g/kg de MS en avena, hasta 720 g/kg de MS en el sorgo (Humer y Zebeli, 2017).

Los granos de cereales muestran grandes variaciones en sus cantidades de almidón degradable en rumen, y proteína cruda (Seifried *et al.*, 2016). El almidón presente en los granos de trigo, triticale, avena y cebada tiene tasas de fermentación ruminal más rápidas (950 g/kg de almidón en triticale y trigo), que las del grano de sorgo y de maíz (600 g/kg de almidón) (Benninghoff *et al.*, 2015).

En los sistemas de pastoreo de especies mixtas con bovinos y pequeños rumiantes, es muy común que se suplemente con granos. En estos sistemas los animales generalmente pastorean durante todo el día y el concentrado se ofrece como un componente por separado, proporcionado una o dos veces al día. En este tipo de alimentación, los animales generalmente tienen menor consumo de materia seca y energía y pH ruminal más variable que aquellos alimentados con raciones totales mixtas (Bargo *et al.*, 2002).

La inclusión de granos a dietas basadas en forrajes mejora la digestibilidad de la materia seca y el suministro total de nutrientes (Dixon y Stockdale, 1999). Sin embargo, dependiendo de los niveles de suplementación de los granos, esto puede también reducir el consumo de forrajes (Elizalde *et al.*, 1999), el pH ruminal (Cajaville *et al.*, 2006) y la digestibilidad de la fibra (Tebot *et al.*, 2012).

Aguerre *et al.* (2013), compararon la respuesta al incremento de suplementación con grano de sorgo (0, 5, 10 y 15 g/kg de su peso corporal) en bovinos y ovinos alimentados *ad libitum* con pasturas frescas, sobre el consumo de alimento, digestibilidad, fermentación ruminal y síntesis de proteínas microbianas ruminales. La composición química de los pastos y del grano de sorgo utilizados en el estudio de Aguerre *et al.* (2013), se presenta en el Cuadro 6.

El incremento en los niveles de suplementación con grano de sorgo aumentó de forma lineal el consumo total de materia seca en el ganado bovino ($P < 0.01$) y disminuyó en los ovinos ($P \leq 0.02$). Sin embargo, asociado al incremento de los niveles de suplementación, disminuyó el consumo de forraje en ambas especies animales, siendo esto más pronunciado en los ovinos ($P < 0.01$).

La digestibilidad de la materia orgánica (MO) y la fibra de detergente neutro (FDN) no mostró diferencias entre especies. En bovinos, el aumento de los niveles de

suplementación no afectó la digestibilidad de la FDA, pero disminuyó linealmente la digestibilidad del almidón ($P<0.01$). En las ovejas, la digestibilidad de la FDA disminuyó linealmente ($P<0.01$) y la digestibilidad del almidón se mantuvo constante a medida que aumentaba la suplementación.

Cuadro 6. Composición química (g/kg MS) de pastos y grano de sorgo (Aguerre *et al.*, 2013).

Parámetro	Pastos	Grano de sorgo
Materia orgánica (MO)	932	988
Fibra detergente neutro (FDN)	418	192
Fibra detergente ácido (FDA)	288	64.2
Lignina ácido detergente (LAD)	139	36.8
Extracto etéreo (EE)	18.1	21.3
Almidón	30.5	661
N total	20.2	10.0

2.9 Valor nutricional de la harina de soya

La soya (*Glycine max*) es una leguminosa originaria de Asia, ampliamente cultivada para su consumo en humanos y para la elaboración de alimentos para animales. Los alimentos a base de soya tienen buenas cualidades nutricionales, no solo por su alto contenido de proteínas y aceite, sino también por sus fitoquímicos, en particular las isoflavonas (Kishida *et al.*, 2000). Actualmente los productos derivados de la proteína de soya para la alimentación animal han aumentado debido a su alto valor nutricional y su buen equilibrio de aminoácidos esenciales y no esenciales (Frias *et al.*, 2008).

La harina de soya es la fuente de proteína más común en las dietas de animales no rumiantes; sin embargo, también es muy utilizada en dietas de rumiantes. Estados

Unidos, Brasil, Argentina e India son los países productores y exportadores más importantes (Ibáñez *et al.*, 2020).

La harina de soya es el producto que queda después de la extracción del aceite de las hojuelas del frijol de soya. Esta harina se utiliza como fuente de proteína para suplementar al ganado, llegando a tener hasta un 48% de PC (en base MS). Sin embargo, la harina de soya cruda contiene una cantidad significativa de factores antinutricionales, que deben ser eliminados para aumentar su aceptabilidad por parte de los animales (Mukherjee *et al.*, 2016).

El grupo más importante de factores antinutricionales contenidos en el frijol crudo de soya son los inhibidores de tripsina. Éstos pueden ser inactivados por medio de un tratamiento con calor, con lo cual se hace posible usar mayores cantidades de harina de soya en la alimentación animal (González-Vega *et al.*, 2011).

La suplementación con harina de soya a rumiantes que consumen forrajes de baja calidad (<6% PC) mejoró significativamente el consumo de forrajes (Bandyk *et al.*, 2001), la digestibilidad de nutrientes (Bohnert *et al.*, 2002), el rendimiento animal (Bohnert *et al.*, 2002) y la eficiencia reproductiva (Wiley *et al.*, 1991).

Al evaluar la suplementación cada dos días (Currier *et al.*, 2004), o una vez por semana (McGuire *et al.*, 2013) de proteína cruda a rumiantes que consumen forrajes de baja calidad se logró disminuir los costos de trabajo asociados con la suplementación, y se mantuvieron el rendimiento, el consumo y la utilización de nutrientes aceptables en comparación con la suplementación diaria.

Ibáñez *et al.* (2020), realizaron un meta-análisis de resultados publicados en 18 artículos entre el 2002 y el 2018, con un total de 1994 muestras de harina de soya para estudiar el valor nutricional de harina de soya proveniente de Argentina, Brasil, EU e India, y reportaron que el origen de los frijoles de soya, repercute en la composición química, la calidad de las proteínas y el valor nutritivo de la harina de soya comercial (Cuadro 7).

Cuadro 7. Composición química (g/880 g MS) de harinas de soya comerciales provenientes de Argentina, Brasil, EU e India (Ibáñez *et al.*, 2020).

Parámetro	n	Media	Desv. Est.	Mínimo	Máximo
MS	55	891	13.1	869	928
Cenizas	44	65.1	4.43	56.4	78.7
PC	58	464	18.1	418	500
EE	46	16.6	5.05	8.30	29.4
FC	40	46.5	9.93	34.3	70.5
FDN	34	96.8	17.7	71.6	131

2.10 Valor nutricional de la cáscara de naranja

Los subproductos de cítricos se han utilizado como alimentos para animales, principalmente secos o ensilados para incrementar el crecimiento y desarrollo de los animales y la lactancia (Bampidis y Robinson, 2006).

La cáscara de naranja se caracteriza por su elevado valor nutricional como alimento para el ganado, se puede incluir en la nutrición de animales de granja, porque contienen compuestos secundarios como sus aceites esenciales los cuales tienen propiedades antioxidantes, antibacterianas, antimicrobianas y actividades antiparasitarias (Singh *et al.*, 2010; Kotsampasi *et al.*, 2018).

La pulpa de cítricos frecuentemente se incluye en forma deshidratada en la dieta, para ser proporcionada a los animales. Se recomienda que se introduzca gradualmente en una ración, para permitir que los animales se acostumbren a su olor y sabor característicos (Bampidis y Robinson, 2006). También se puede proporcionar fresca o ensilada, ambas modalidades generalmente también son aceptadas por los rumiantes muy rápidamente.

La composición nutricional de los cítricos se puede ver afectada por factores o condiciones de crecimiento, madurez, portainjerto, variedad y clima (Nordi *et al.*, 2014).

Un gran número de subproductos cítricos (Cuadro 8) son adecuados para su inclusión en las dietas de rumiantes debido a la capacidad que presentan para ser aprovechados de manera adecuada en el rumen (Nordi *et al.*, 2014).

Cuadro 8. Composición química (g/kg MS) de diferentes subproductos de la naranja (Bampidis y Robinson, 2006).

Subproductos Cítricos	Cáscara fresca de naranja	Silo cáscara de naranja	Silo pulpa de naranja	Pulpa fresca de naranja	Pulpa de naranja deshidratada
MS	233	193	154	192	902
MO	975	954		965	909
PC	58	81	109	64	72
Grasa cruda				40	30
FDN	200	228			193
FDA	129	170		150	169
Lignina				13	5

Fernández *et al.* (2019), reportaron que la inclusión de cáscara de naranja como forraje en una dieta regular para cabras lactantes disminuyó el consumo de MS, sin generar efectos perjudiciales en la producción de leche y favoreciendo la reducción en la emisión de metano. Estos autores mencionaron que algunos metabolitos secundarios de la cáscara de naranja pueden ejercer efectos negativos sobre la actividad metanogénica (Fernández *et al.*, 2019).

Nordi *et al.* (2014), evaluaron cómo es que la suplementación con pulpa de cítricos húmeda y deshidratada en la dieta de ovinos que habían sido previamente infectados artificial y naturalmente con nematodos gastrointestinales, influía sobre su rendimiento y los parámetros parasitológicos. En el experimento 1 los corderos fueron infectados artificialmente con *Haemonchus contortus* y en el experimento 2 los corderos fueron infectados naturalmente por nematodos gastrointestinales.

Ambos experimentos tuvieron tres tratamientos C: control, DP: dieta + pulpa de cítricos deshidratada, y MP: dieta + ensilaje de pulpa de naranja húmeda. Las dietas fueron isoproteicas, con 11% de proteína cruda.

Con los resultados obtenidos se pudo observar que el consumo durante 42 días, de pulpa de cítricos deshidratada provocó menores tasas de eclosión de huevos de *H. contortus* en animales infectados en el experimento 1, lo que sugiere una tendencia a arrojar menos huevos al medio ambiente. Esto demostró que tanto la pulpa de naranja húmeda como la deshidratada pueden usarse para alimentar a los corderos infectados con *H. contortus* (Nordi *et al.* (2014).

2.11 Método de producción de gas *in vitro*

Metodologías *in vivo*, *in situ* e *in vitro* contribuyen a determinar las características de fermentación de los alimentos en el rumen. La técnica de producción de gas es un método *in vitro*, que permite determinar con alta sensibilidad, el grado y la cinética de degradación del alimento, por medio de la medición del volumen de gas producido durante el proceso fermentativo (Rosero, 2002).

La medición de la producción de gas *in vitro* es utilizada para evaluar el efecto que tienen diferentes forrajes, alimentos, dietas y aditivos en la fermentación ruminal (Storm *et al.*, 2012), emulando, bajo condiciones controladas de laboratorio, el ambiente ruminal, la temperatura (39 °C), pH, anaerobiosis y aporte de minerales, para evaluar la fermentación ruminal de diferentes sustratos o aditivos (Storm *et al.*, 2012).

El método desarrollado originalmente por Menke y Steingass (1979), involucra el uso de jeringas de vidrio, cuyo fundamento involucra el desplazamiento del émbolo en la medida en que la presión de gas se incrementa. Con el paso del tiempo se han realizado modificaciones y adecuaciones a dicha metodología, desarrollando métodos semiautomáticos o automáticos, que emplean dispositivos electrónicos, tales como transductores de presión y computadoras, los cuales posibilitan un registro, y almacenamiento más exacto de los datos de producción de gas (Posada y Rosero, 2006).

La cinética de producción de gas deriva de la composición del alimento, por lo que en su determinación se ven involucradas, la composición química, las fracciones solubles, las insolubles pero degradables, y las no degradables de los carbohidratos y de la proteína del alimento (Lara *et al.*, 2009).

Cerrillo y Juárez (2004) analizaron el efecto de la producción de gas *in vitro* en muestras de extrusa de tres cabras provistas con cánulas esofágicas, las cuales pastoreaban arbustos espinosos del norte de México. Las muestras fueron colectadas de febrero a diciembre, y fueron agrupadas en épocas correspondientes a primavera, verano, otoño, e invierno. Se observó mayor producción de gas durante el otoño (37.4 ml) y una menor producción (28 ml) durante el invierno.

Lara *et al.*, (2009) evaluaron el efecto de la mezcla de ingredientes en la producción de gas *in vitro* y la degradabilidad de la materia seca y materia orgánica, y reportaron que la inclusión de maíz mejoró los patrones de fermentación y la degradación *in vitro* de *Morus alba* (morera), al lograr un efecto aditivo en la producción acumulada de gas, lo cual incrementó la digestibilidad *in vitro* de la materia seca del alimento.

Velázquez *et al.* (2011), valoraron el efecto que tenía la inclusión de vainas de huizache (*Acacia farnesiana*) en dietas para corderos, evaluando su composición química y producción de gas *in vitro*. Los niveles de inclusión evaluados en los tratamientos experimentales fueron 0, 100, 200, 300 y 400 g de *Acacia farnesiana*/kg de MS, en dietas isoprotéicas para corderos en crecimiento, compuestas por rastrojo de maíz, harina de soya, salvado de trigo y una mezcla de minerales (Velázquez *et al.*, 2011).

De acuerdo con los resultados de Velázquez *et al.* (2011), presentados en el Cuadro 9, se observó que cuando se incluyeron 400 g de vainas de huizache/kg de dieta, se registró una producción total de gas (ml/g MS) menor ($P<0.05$), a la del grupo control, en donde no se agregaron vainas de huizache. Esto pudo deberse al alto contenido de taninos condensados presentes al incluir 400 g de vainas del huizache/kg de alimento, lo cual debió haber impactado negativamente la fermentación ruminal (Cuadro 9).

Cuadro 9. Efecto de la inclusión con diferentes niveles (g/kg) de *Acacia farnesiana* sobre la producción de gas *in vitro* (Velázquez *et al.*, 2011).

Vainas de <i>Acacia farnesiana</i> (g/kg)	A Producción total de gas (ml/g MS)	b tasa de fermentación (h ⁻¹)	c tasa de fermentación (h ^{-1/2})	T tiempo lag (h)
0	364.16 ^a	0.034 ^a	0.011 ^a	0.098 ^a
100	364.92 ^a	0.035 ^a	0.019 ^{ab}	0.048 ^a
200	355.13 ^a	0.029 ^a	0.034 ^{bc}	0.013 ^a
300	317.88 ^{ab}	0.029 ^a	0.042 ^c	0.013 ^a
400	304.45 ^b	0.027 ^a	0.043 ^c	0.009 ^a

La tasa de fermentación b (h⁻¹) y el tiempo lag de fermentación (h) no fueron diferentes entre tratamientos. En cambio, la tasa de fermentación c (h^{-1/2}) fue similar al incluir 300 y 400 g de *A. farnesiana*/kg, pero diferente a la registrada en el grupo control (P < 0.05).

Rubanza *et al.* (2005), mencionaron que una elevada concentración de taninos condensados en la dieta provoca la reducción de la digestibilidad y degradabilidad ruminal *in vitro*. Sin embargo, también mencionaron que además de la concentración de taninos, debe considerarse la presencia de otros metabolitos secundarios, como son los aminoácidos no proteicos.

Soltan *et al.* (2017), compararon los efectos de suplementar con corteza de raíz de *Moringa oleifera* o con monensina sódica, como posibles productos modificadores de la fermentación ruminal, sobre la digestibilidad de nutrientes y el rendimiento de crecimiento en corderos en etapa de crecimiento. Como tratamiento 1 se utilizó la dieta sin aditivo (Grupo control). El tratamiento 2 consistió en utilizar monensina sódica a razón de 40 mg/kg MS. En los tratamientos 3 y 4 se utilizó la corteza de raíz de moringa a razón de 25 y de 50 g/kg MS (Cuadro 10).

Cuadro 10. Efectos de suplementar con monensina sódica y corteza de raíz de *Moringa oleifera* sobre la producción de gas y de metano (Soltan *et al.*, 2017).

	Tratamientos			
	Control	Monensina	Corteza de raíz de <i>Moringa oleifera</i>	
			25 g/kg MS	50 g/kg MS
Producción de gas				
(ml/g MS)	139	131	133	127
(ml/g MOVD)	230	229	229	223
Producción de metano (24 h)				
(ml/g MS)	10.1 ^a	9.78 ^{ab}	9.37 ^b	8.05 ^c
(ml/g MOVD)	17.7 ^a	16.7 ^{ab}	16.1 ^{ab}	14.1 ^b

MOVD = Materia orgánica verdaderamente degradada, (P < 0.05).

De acuerdo con los resultados de Soltan *et al.* (2017), no se observaron diferencias entre las dietas evaluadas (tratamientos) en aspectos de producción de gas. Sin embargo, se pudo detectar que dosis altas de raíz de moringa disminuyeron la producción de metano por unidad de materia seca y por unidad de materia orgánica, en comparación con el grupo control. Se observaron resultados similares para la dieta adicionada con monensina sódica y con la dieta de dosis bajas de raíz de moringa, sobre la producción de gas y la producción de metano.

2.12 Método de digestibilidad *in vitro*

De acuerdo con Mabjeesh *et al.* (2000), utilizando la incubadora DaisyII® es posible determinar la digestibilidad *in vitro* de alimentos para animales con una precisión mayor que con el método de Tilley y Terry (1963).

García *et al.* (2019), utilizaron la incubadora DAISY II, (ANKOM, Macedonia, NY, EE. UU.), para evaluar la digestibilidad *in vitro* y el grado de degradación ruminal de subproductos agroindustriales. Los coeficientes de digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro (NDF) variaron de 0.064 g/g NDF incubado en semillas de uva, hasta 0.949 g/g NDF incubado en pulpa de naranja.

2.13 Energía metabolizable

La evaluación correcta de la densidad energética de una dieta es fundamental para la predicción del rendimiento productivo de los rumiantes (Robinson, 2007). Dinesh *et al.* (2015), evaluaron el contenido de energía metabolizable de varios ingredientes, observando que los valores de energía metabolizable fueron muy bajos en los alimentos que tienen alto contenido de fibra y bajo contenido en proteína. El valor de energía metabolizable más bajo registrado, fue el de la paja de trigo, con 4.65 MJ EM/kg, sobre todo debido a que estos forrajes son deficientes en carbohidratos fermentables (Garg *et al.*, 2012).

Dinesh *et al.* (2015) encontraron que los alimentos concentrados tenían los valores más altos de EM. En efecto, el valor de energía metabolizable más alto que ellos registraron fue para el grano de trigo, con 12.02 MJ EM/kg. Las diferencias determinadas en el contenido de energía metabolizable de los alimentos se vieron reflejadas en su contenido de carbohidratos fermentables y disponibilidad de N en cereales y suplementos proteicos.

Los sistemas ganaderos pueden obtener grandes beneficios al tener información más precisa relacionada con la cinética de degradación de los forrajes, y de los suplementos disponibles en la zona, que pueden complementar los aportes nutricionales de los forrajes.

2.14. Objetivos

1.15. Objetivo general

En el presente trabajo se determinó el valor nutricional de diferentes muestras de pasto Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.), chaparro prieto (*Acacia rigidula*) y huizache (*Acacia farnesiana*), así como de los suplementos, grano de sorgo, harina de soya y cáscara de naranja, y de dietas elaboradas con cada uno de los tres forrajes evaluados, asociados cada uno con cantidades limitadas de cada uno de los tres suplementos.

2.16. Objetivos específicos

- a) Determinación del análisis bromatológico de los forrajes, suplementos y dietas.
- b) Evaluación de la digestibilidad y degradabilidad ruminal *in vitro* en muestras de alimentos para ovinos y caprinos.
- c) Determinar la producción de gas *in vitro*, la digestibilidad *in vitro*, y la composición química de los tres forrajes: pasto Buffel (*Cenchrus ciliaris*), chaparro prieto (*Acacia rigidula*) y huizache (*Acacia farnesiana*), así como de los suplementos grano de sorgo, harina de soya, cáscara de naranja, y de las dietas experimentales

2.17. Hipótesis

La incorporación de suplementos como el grano de sorgo, la harina de soya y la cáscara de naranja mejorará los parámetros de digestibilidad y degradabilidad ruminal *in vitro* y el valor nutricional de dietas elaboradas a base de forrajes convencionales del Noreste de México.

3. Materiales y Métodos

3.1. Forrajes

Se colectaron aleatoriamente 3 muestras representativas de invierno, correspondientes a los meses de diciembre 2019, enero y febrero 2020, y 3 muestras representativas de otoño, correspondientes a los meses de septiembre, octubre y noviembre 2020, de pasto Buffel (*Cenchrus ciliaris*), así como hojas del arbusto chaparro prieto (*Acacia rigidula*) y huizache (*Acacia farnesiana*), aleatoriamente de varios sitios de pastoreo en el Campo Experimental de la Unidad Académica Marín, de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), localizado entre las coordenadas 25° 53' latitud norte y 100° 03' longitud oeste, en donde predomina un clima seco la mayor parte del año.

La colecta se llevó a cabo emulando el comportamiento de pastoreo de los ovinos y caprinos, por lo que el pasto Buffel se cortó a 5 – 10 cm del suelo incluyendo semillas, hojas y tallos de cada planta. Para las muestras de arbustos se colectaron únicamente las hojas de ramitas localizadas a una altura de entre 1 y 1.5 m.

Las muestras colectadas fueron secadas por 48 h a 60 °C en una estufa de aire forzado (Yamato Scientific America Inc. Constant Temperature Oven, Japan), posteriormente fueron molidas en un molino Wiley (Arthur A. Thomas Co. Filadelfia, PA) para pasar a través de una malla de 1 mm. Una vez molidas, las muestras fueron almacenadas en bolsas herméticas hasta su análisis en el Laboratorio de Nutrición y Calidad de los Alimentos de la Facultad de Agronomía, UANL.

3.2. Suplementos

Durante los mismos periodos otoño-invierno, se colectaron 6 muestras de grano de sorgo, harina de soya y cáscara de naranja. Las muestras de grano de sorgo fueron y de harina de soya, fueron obtenidas de forrajeras del área conurbada de Monterrey. Las muestras de cáscara de naranja se colectaron frescas de distintos sitios de producción de la industria juguera. Fueron cortadas en trozos pequeños para facilitar su manipulación, posteriormente fueron secadas durante 48 h a 60 °C en una estufa de aire forzado (Yamato Scientific America Inc. Constant Temperature

Oven, Japan) y molidas en un molino Wiley (Arthur A. Thomas Co. Filadelfia, PA) para pasar a través de una malla de 1 mm y almacenadas en bolsas herméticas hasta su análisis en el Laboratorio de Nutrición y Calidad de los Alimentos de la Facultad de Agronomía, UANL.

3.3. Dietas experimentales

Con la finalidad de evaluar el efecto de la suplementación, se formularon dietas experimentales con los forrajes pasto Buffel (*Cenchrus ciliaris*), chaparro prieto (*Acacia rigidula*) y huizache (*Acacia farnesiana*), y los suplementos grano de sorgo, harina de soya y cáscara de naranja, con adición limitada de un 10% de cada uno de los suplementos a cada uno de los forrajes. Se elaboraron 9 dietas experimentales diferentes con forrajes y suplementos de los diferentes meses de muestreo (Cuadro 11), logrando tener n = 6 repeticiones de cada dieta experimental.

Cuadro 11. Elaboración de dietas experimentales.

DIETAS EXPERIMENTALES		
Dieta	Forrajes	Suplementos
1	90% Pasto Buffel (<i>Cenchrus ciliaris</i>)	10% de grano de sorgo
2	90% Pasto Buffel (<i>Cenchrus ciliaris</i>)	10% de harina de soya
3	90% Pasto Buffel (<i>Cenchrus ciliaris</i>)	10% de cáscara de naranja
4	90% Chaparro prieto (<i>Acacia rigidula</i>)	10% de grano de sorgo
5	90% Chaparro prieto (<i>Acacia rigidula</i>)	10% de harina de soya
6	90% Chaparro prieto (<i>Acacia rigidula</i>)	10% de cáscara de naranja
7	90% Huizache (<i>Acacia farnesiana</i>)	10% de grano de sorgo
8	90% Huizache (<i>Acacia farnesiana</i>)	10% de harina de soya
9	90% Huizache (<i>Acacia farnesiana</i>)	10% de cáscara de naranja

3.4. Análisis para determinar composición química

Los análisis de calidad de los forrajes, los suplementos y las dietas experimentales se llevaron a cabo en el Laboratorio de Nutrición y Calidad de Alimentos, de la Facultad de Agronomía UANL, de acuerdo con la metodología de la AOAC (2005).

Humedad: (AOAC 930.15): El método se basa en la determinación gravimétrica de la pérdida de masa, de la muestra desecada hasta peso constante en estufa de aire forzado (Yamato Scientific America Inc. Constant Temperature Oven, Japan) a 103°C. El resultado corresponde a la materia seca (MS) de la muestra.

Cenizas: (método 942.05; AOAC): El contenido de cenizas fue medido como el residuo que queda luego de incinerar una muestra en una mufla a 550°C durante 4 horas, utilizando una mufla marca Lindberg (Thermo Scientific®, Waltham, MA).

Grasa: (método 920.39; AOAC): Se cuantificó el extracto etéreo obtenido al extraer los triacilglicéridos presentes en la muestra, empleando éter de petróleo y utilizando el Extractor de grasa ANKOM XT10; (ANKOM Technology, Macedonia, NY).

Proteína: Se determinó el contenido de proteína cruda por el método Kjeldahl utilizando un bloque de digestión, en el que la muestra es digerida a 400°C con ácido sulfúrico y catalizador (3% CuSO₄, 97% K₂SO₄). Posteriormente se utilizó el aparato de destilación Kjeldahl para destilar con hidróxido de sodio el nitrógeno liberado en la combustión de la muestra. Por último, se tituló el nitrógeno destilado con ácido clorhídrico (0.1 N). El método cuantifica nitrógeno total (N) de la muestra y mediante un factor de conversión es expresado en términos de proteína cruda (Navarro y Roa, 2020).

Fibra detergente neutro y fibra detergente ácido: Los contenidos de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) se determinaron mediante los procedimientos de Van Soest *et al.* (1991), empleando el analizador de fibra ANKOM 2000; (ANKOM Technology, Macedonia, NY). El contenido de lignina se determinó con el método de lignina ácido detergente, descrito por Ramírez (2007). Los contenidos de hemicelulosa (FDN-FDA) y celulosa (FDA-Lignina) se calcularon por diferencia, como fue descrito por Dryden (2008).

3.5. Producción de gas *in vitro*

La producción de gas *in vitro* se realizó a partir de septiembre 2020, de acuerdo con la metodología descrita por Menke and Steingass (1988), utilizando jeringas calibradas de vidrio de 100 ml, para incubar 200 mg de los forrajes, los suplementos y las dietas previamente deshidratadas, molidas y cribadas a partícula de 1 mm.

Como inóculo, se utilizaron 30 ml de una mezcla 2:1 (v/v) de saliva artificial y líquido ruminal. Como saliva artificial se preparó una solución buffer elaborada a base de bicarbonato de sodio y bicarbonato de amonio, solución nutritiva (macro y microminerales) (Melesse *et al.*, 2017).

El fluido ruminal fue colectado de dos ovinos nacidos en octubre 2018 (de dos años de edad), fistulados del rumen en Marzo 2019 (es decir, desde 1.5 años antes de su utilización como donadores de líquido ruminal para esta Tesis), de la raza Saint Croix alimentados con una dieta controlada a base de 75% forraje y 25% concentrado.

Se realizaron trabajos con fines de estandarización de la técnica, consistentes en incubaciones establecidas en repetidas ocasiones, para determinar la variabilidad inter- e intra-ensayo. La producción de gas de las muestras incubadas a 39°C, se registró por duplicado a las 3, 6, 9, 12 y 24 h. Las lecturas registradas fueron corregidas considerando la producción de gas de un blanco, consistente en la incubación del inóculo sin muestra.

3.6. Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS)

La determinación se realizó incubando las muestras de los alimentos en bolsas F57 de ANKOM (con poro de 25 µm) durante 48 horas a 39 °C, en una mezcla 2:1 (v/v) de saliva artificial y líquido ruminal. Se determinó la diferencia de peso del material antes y después de la incubación. Posteriormente, se llevó a cabo el análisis secuencial del contenido de FDN. Se calculó la tasa de digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS, %) de acuerdo con el procedimiento Daisy^{II} (ANKOM, 2008):

$$\% \text{ DIVMS} = \left(100 - \frac{(W3 - (W1 * C1))}{(W2 * MS)} \right) * 100$$

Donde:

W1= Peso de la bolsa F57

W2= Peso muestra

W3= Peso final de la bolsa después de la DIV y tratamiento secuencial de FDN.

C1= Factor del blanco (peso final del blanco después del secado/peso original del blanco).

3.7. Contenido de energía metabolizable

El contenido de energía metabolizable fue estimado a partir de la producción de gas *in vitro* a las 24 horas de incubación, y considerando el contenido de proteína cruda, el contenido de extracto etéreo y el contenido de cenizas de cada una de las correspondientes muestras analizadas, de acuerdo a las ecuaciones propuestas por Menke y Steingass (1988) utilizando una ecuación para las muestras de forrajes y otra para las muestras de los suplementos.

Para los forrajes se utilizó la siguiente fórmula:

$$EM = [146(PG24h) + 7(PC)(10) + 22.4(EE)(10) + 1242]/4.184$$

Donde EM: energía metabolizable (kcal/kg MS), PG24h: producción de gas a las 24 horas de incubación (ml/200mg MS), PC: proteína cruda (g/kg MS), EE: extracto etéreo (g/kg MS).

Para los suplementos se utilizó la siguiente fórmula:

$$EM = [157 (PG24h) + 8.4(PC) + 22(E E) - 8.1(Cen) + 1062]/4.184$$

Donde EM: energía metabolizable (kcal/kg MS), PG24h: producción de gas a las 24 horas de incubación (ml/200mg MS), PC: proteína cruda (g/kg MS), EE: extracto etéreo (g/kg MS) y Cen: contenido de cenizas (g/kg MS).

3.8. Digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO)

Fue estimada utilizando la fórmula propuesta por Menke y Steingass (1988), a partir de la producción de gas *in vitro* a las 24 horas, al contenido de proteína cruda y al contenido de cenizas, aplicando para ello la siguiente ecuación:

$$DIVMO = [0.889 (PG24h) + 0.448(PC) + 0.651 (Cen) + 14.88]$$

3.9. Análisis estadístico

Los resultados para los forrajes, los suplementos y las dietas experimentales fueron analizados estadísticamente de acuerdo con un diseño completamente al azar, realizando un análisis de varianza (ANOVA). Para los ingredientes individuales se utilizaron 3 forrajes y 3 suplementos, con n = 6 repeticiones para cada forraje y para cada suplemento por separado.

Para el caso de las dietas experimentales se realizó el análisis estadístico por separado para cada fuente de forraje, comparando su valor nutricional y energético, con el resultante al adicionar 10% de cada uno de los 3 suplementos (n = 6 repeticiones por cada dieta). Se realizó una comparación de medias por el método Tukey, a un nivel de significancia de P = 0.05. Se utilizó el paquete estadístico SPSS (Carvalho *et al.*, 2017).

4. Resultados

4.1. Forrajes

4.1.1 Análisis del valor nutricional de los forrajes evaluados

Los valores de la composición química de los 3 forrajes evaluados en el presente trabajo se muestran en el Cuadro 12. Se registró gran diferencia en el contenido de PC de pasto Buffel (7.6%) respecto al del huizache (17.26%; $P < 0.001$). El contenido de cenizas del pasto Buffel y de chaparro prieto fue menor al del huizache cuyo valor promedio registrado fue 12.56%. El contenido de extracto etéreo (EE) fue más bajo (1.56%; $P < 0.001$) en muestras de hojas de chaparro prieto y mayor (7.33%) en muestras de hojas de huizache.

Cuadro 12. Contenido de cenizas, grasa, proteína y fracciones de fibra (% MS) de los forrajes (pasto Buffel, huizache y chaparro prieto).

Parámetro (% MS)	Forraje			Estadístico	
	Pasto Buffel	Huizache	Chaparro Prieto	EEM	Valor P
Cenizas	8.33 ^b	12.56 ^a	7.32 ^b	0.489	<0.001
PC	7.60 ^c	17.26 ^a	13.76 ^b	0.536	<0.001
EE	1.97 ^b	7.33 ^a	1.56 ^b	0.209	<0.001
FDN	73.71 ^a	34.64 ^c	48.28 ^b	0.814	<0.001
FDA	49.62 ^a	28.99 ^c	43.45 ^b	0.965	<0.001
LAD	1.75	1.55	1.45	0.168	<0.001
Hemicel.	24.09 ^a	5.64 ^b	4.83 ^b	0.727	<0.001
Celulosa	47.86 ^a	27.44 ^c	41.99 ^b	0.880	<0.001

^{a,b,c} Letras diferentes en columna indican diferencias significativas ($P < 0.05$)

En cuanto a las fracciones de fibra FDN y FDA, se registró un contenido significativamente menor ($P < 0.001$) en el huizache en contraste con los otros 2 forrajes evaluados. El contenido de FDN fue 34.64% en las muestras de huizache y

73.71% en las muestras de pasto Buffel. No se registraron diferencias significativas ($P > 0.05$) en el contenido de lignina en los forrajes evaluados. El contenido de celulosa y hemicelulosa fue mayor en las muestras de pasto Buffel ($P < 0.001$), que en las muestras de huizache y chaparro prieto.

4.1.2 Producción de gas, digestibilidad y energía metabolizable de los forrajes evaluados

En el Cuadro 13 se muestran los valores de producción de gas *in vitro* a las 24 horas de incubación (24h ml/200 mg), de digestibilidad *in vitro* de la materia seca (%), del contenido de energía metabolizable (kcal/kg de MS) y de la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (%) de los forrajes evaluados.

Cuadro 13. Valores medios de PG 24h, DIVMS, EM y DIVMO de los forrajes (pasto Buffel, huizache y chaparro prieto).

Parámetro	Forraje			Estadístico	
	Pasto Buffel	Huizache	Chaparro Prieto	EEM	Valor P
PG 24h	19.22 ^b	23.71 ^a	13.33 ^c	1.382	<0.001
DIVMS	45.96 ^b	61.62 ^a	48.52 ^b	1.194	<0.001
EM	1200 ^b	1806 ^a	1076 ^b	45.660	<0.001
DIVMO	40.80 ^b	51.87 ^a	37.67 ^b	1.196	<0.001

^{a,b,c} Letras diferentes en columna indican diferencias significativas ($P < 0.05$)

Los valores obtenidos de la producción de gas a las 24 horas fueron significativamente mayores en el huizache (23.7 ml/200 mg, $P < 0.001$) en contraste con el pasto Buffel y el chaparro prieto (19.22 y 13.3 ml/200 mg, respectivamente). Los valores registrados en las muestras de chaparro prieto, corresponden a valores 44% menores en comparación a los obtenidos en las muestras de huizache. El huizache presentó el contenido más alto de energía metabolizable (1806 kcal/kg

MS, $P < 0.001$). En cambio, las muestras analizadas de pasto Buffel y de chaparro prieto tuvieron contenido de energía entre 1076 (chaparro prieto) y 1200 kcal/kg MS, en el caso del pasto Buffel.

Los valores más altos de DIVMS ($P < 0.01$) se obtuvieron en las muestras de huizache (61.62% MS) y los valores más bajos fueron registrados en las muestras de pasto Buffel (45.96% MS).

4.2. Suplementos

4.2.1 Análisis del valor nutricional de los suplementos evaluados

La composición química de los tres suplementos evaluados en el presente trabajo se muestra en el Cuadro 14. El contenido de PC registrado en las muestras de cáscara de naranja (4.91% en MS) fue muy contrastante ($P < 0.001$) con el valor de 42.77% (base MS), obtenido en las muestras harina de soya.

Cuadro 14. Contenido de cenizas, grasa, proteína y fracciones de fibra (% MS) de los suplementos (Grano de sorgo, Harina de soya y Cáscara de naranja).

Parámetro (% MS)	Suplemento			Estadístico	
	Grano de sorgo	Harina de soya	Cáscara de naranja	EEM	Valor P
Cenizas	3.96 ^b	6.51 ^a	4.45 ^{ab}	0.622	0.015
PC	9.04 ^b	42.77 ^a	4.91 ^c	0.867	<0.001
EE	1.79	1.65	2.09	0.145	0.113
FDN	22.29 ^a	16.31 ^c	19.14 ^b	0.810	<0.001
FDA	8.52 ^b	7.81 ^b	14.83 ^a	0.510	<0.001
LAD	1.65 ^b	2.19 ^a	0.88 ^c	0.130	<0.001
Hemicel.	13.76 ^a	8.50 ^b	4.30 ^c	0.916	<0.001
Celulosa	6.86 ^b	5.22 ^b	13.94 ^a	0.559	<0.001

^{a,b,c} Letras diferentes en columna indican diferencias significativas ($P < 0.05$)

En cuanto al contenido de fibra presente en los diferentes suplementos evaluados, se presentaron diferencias ($P < 0.01$) en todas sus fracciones. El contenido de lignina de la cáscara de naranja fue menor (0.88 % base MS), al de la harina de soya, que presentó los niveles más elevados (2.19% MS, $P < 0.001$).

4.2.2 Producción de gas, digestibilidad y energía metabolizable de los suplementos evaluados

Los valores de la producción de gas *in vitro* a las 24 horas de incubación (24h ml/200 mg), digestibilidad *in vitro* de la materia seca (%), contenido de energía metabolizable (kcal/kg MS) y digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (%) de los suplementos evaluados, se muestran en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Valores medios de PG 24h, DIVMS, EM y DIVMO de los suplementos (grano de sorgo, harina de soya y cáscara de naranja)

Parámetro	Suplemento			Estadístico	
	Grano de sorgo	Harina de soya	Cáscara de naranja	EEM	Valor P
PG 24h	49.58 ^b	36.25 ^c	66.29 ^a	3.782	<0.001
DIVMS	85.60 ^b	90.02 ^{ab}	93.94 ^a	1.289	<0.001
EM	2314 ^b	2434 ^{ab}	2864 ^a	150.417	0.036
DIVMO	65.59 ^c	70.51 ^{ab}	78.91 ^a	3.197	0.020

^{a,b,c} Letras diferentes en columna indican diferencias significativas ($P < 0.05$)

La producción de gas a las 24 horas de incubación fue significativamente mayor (66.29 ml/200 mg MS, $P < 0.001$) en la cáscara de naranja, en comparación con los suplementos grano de sorgo (49.58) y harina de soya (36.25 ml/200mg), siendo este valor 45% menor a las muestras de cáscara de naranja. Comparados con el grano de sorgo (2314 kcal/kg MS), la cáscara de naranja presentó los niveles de energía metabolizable (2864 kcal/kg MS) más altos ($P < 0.05$).

La cáscara de naranja fue el suplemento que presentó las tasas mayores de digestibilidad *in vitro* de la materia seca (93.94% MS, $P < 0.001$), mientras que el grano de sorgo presentó los valores más bajos de digestibilidad (85.60% MS). En cuanto a la digestibilidad de la materia orgánica los valores más altos se obtuvieron en las muestras de cáscara de naranja (78.91% MS) y los valores más bajos se obtuvieron en las muestras de grano de sorgo (65.59% MS; $P < 0.05$).

4.3. Dietas experimentales

4.3.1 Análisis del valor nutricional de las dietas experimentales

4.3.1.1 Efecto de la adición de tres tipos de suplementos sobre la composición química (% MS) de dietas a base de pasto Buffel

El contenido de cenizas fue similar ($P > 0.05$) en el pasto Buffel y en las dietas adicionadas de los correspondientes suplementos (Cuadro 16). El contenido de grasa disminuyó ($P < 0.001$) de 1.97% en el pasto Buffel, hasta 1.38% al adicionar 10% de sorgo a la dieta.

Cuadro 16. Composición química (% base seca) en muestras de pasto Buffel y en dietas elaboradas con 90% de pasto Buffel, y 10% de los correspondientes suplementos (grano de sorgo, harina de soya y cáscara de naranja).

Parámetro (% MS)	Pasto Buffel	Dieta: 90% Pasto Buffel +			Estadístico	
		Grano de sorgo	Harina de soya	Cáscara de naranja	EEM	Valor P
Cenizas	8.34	8.51	8.99	8.46	0.269	0.423
PC	7.60 ^a	5.20 ^c	9.06 ^a	5.12 ^c	0.179	<0.001
EE	1.97 ^a	1.38 ^b	1.43 ^b	1.55 ^b	0.095	<0.001
FDN	73.72 ^a	66.25 ^b	67.07 ^b	66.93 ^b	0.503	<0.001
FDA	49.62 ^a	44.11 ^c	45.11 ^{bc}	45.89 ^b	0.469	<0.001
Hemicel.	24.09 ^a	22.14 ^b	21.96 ^b	21.04 ^b	0.359	<0.001
LAD	1.76	2.11	1.90	2.00	0.095	0.068
Celulosa	47.76 ^a	42.63 ^c	43.88 ^{bc}	44.57 ^b	0.519	<0.001

^{a,b,c} Letras diferentes en columna indican diferencias significativas ($P < 0.05$)

Las fracciones de fibra disminuyeron ($P < 0.001$) con la adición de los suplementos a la dieta. El contenido de FDN disminuyó de 73.72% en pasto Buffel, hasta 66.25% al adicionar 10% de grano de sorgo. El contenido de FDA disminuyó de 49.62% en

pasto Buffel, hasta 44.11% ($P < 0.001$) con la adición de sorgo a la dieta. El contenido de lignina fue similar entre las dietas evaluadas.

El contenido de PC disminuyó de 7.60% en pasto Buffel, hasta 5.12%, con la adición de cáscara de naranja. Al añadir 10% de harina de soya a la dieta, el contenido de proteína cruda de la dieta se incrementó ($P < 0.001$) hasta 9.06%.

4.3.1.2 Efecto de la adición de tres tipos de suplementos sobre la composición química (% MS) de dietas elaboradas a base de Huizache

El contenido de cenizas fue menor ($P < 0.001$) con la adición de 10% de los suplementos a la dieta (Cuadro 17). El contenido de grasa presente en las muestras de huizache disminuyó ($P < 0.001$) con la adición de los suplementos, de 7.34% hasta 6.08%.

Cuadro 17. Composición química (% base seca) en muestras de huizache y en dietas elaboradas con 90% de huizache y 10% de los correspondientes suplementos (grano de sorgo, harina de soya y cáscara de naranja).

Parámetro (% MS)	Huizache	Dieta: 90% de Huizache +			Estadístico	
		Grano de sorgo	Harina de soya	Cáscara de naranja	EEM	Valor P
Cenizas	12.56 ^a	11.86 ^b	11.72 ^b	11.60 ^b	0.159	0.001
PC	17.27 ^a	12.26 ^c	18.37 ^a	14.10 ^b	0.335	<0.001
EE	7.34 ^a	6.08 ^c	6.23 ^c	6.55 ^b	0.078	<0.001
FDN	34.65 ^a	31.73 ^b	32.26 ^b	31.49 ^b	0.202	<0.001
FDA	29.00 ^a	25.37 ^c	25.54 ^c	26.56 ^b	0.227	<0.001
Hemicel.	5.65 ^b	6.35 ^a	6.72 ^a	4.93 ^c	0.142	<0.001
LAD	1.60 ^b	2.16 ^a	1.99 ^a	2.21 ^a	0.084	<0.001
Celulosa	27.33 ^a	23.48 ^c	23.68 ^{bc}	24.62 ^b	0.271	<0.001

^{a,b,c} Letras diferentes en columna indican diferencias significativas ($P < 0.05$)

El contenido de FDN disminuyó ($P < 0.001$) de 34.65% en huizache, hasta 31.49% registrado al añadir cáscara de naranja. El contenido de FDA disminuyó ($P < 0.001$) desde 29.0% en huizache, hasta 25.37% con la adición de sorgo a la dieta. El contenido de celulosa fue mayor en el huizache (27.33%) y menor ($P < 0.001$) con la adición de sorgo a la dieta (23.48%).

El contenido de proteína cruda en huizache (17.27%), y en las dietas adicionadas con harina de soya (18.37%), fue mayor ($P < 0.001$) a los valores registrados en las dietas donde se añadió grano de sorgo (12.26%) y cáscara de naranja (14.10%).

4.3.1.3 Efecto de la adición de tres tipos de suplementos sobre la composición química (% MS) de dietas elaboradas a base de Chaparro prieto

El contenido de cenizas en muestras de 90% de chaparro prieto con 10% de harina de soya y de cáscara de naranja, fue mayor ($P < 0.001$) al promedio obtenido con chaparro prieto original. Sin embargo, al adicionar 10% de grano de sorgo el contenido de cenizas de la mezcla fue menor (6.57%) al del chaparro prieto original (7.32%; Cuadro 18).

Cuadro 18. Composición química (% base seca) en muestras de chaparro prieto y en dietas elaboradas con 90% chaparro prieto, y 10% de los correspondientes suplementos (grano de sorgo, harina de soya y cáscara de naranja).

Parámetro (% MS)	Chaparro prieto	Dieta: 90% de chaparro prieto +			Estadístico	
		Grano de sorgo	Harina de soya	Cáscara de naranja	EEM	Valor P
Cenizas	7.32 ^b	6.57 ^c	7.91 ^a	7.98 ^a	1.05	<0.001
PC	13.65 ^a	11.57 ^b	13.92 ^a	10.80 ^c	0.185	<0.001
EE	1.61	1.39	1.51	1.59	0.071	0.147
FDN	48.28 ^a	42.76 ^b	42.85 ^b	43.32 ^b	0.464	<0.001
FDA	43.45 ^a	37.85 ^b	38.32 ^b	38.14 ^b	0.555	<0.001
Hemicel.	4.54	4.90	4.53	5.19	0.266	0.257
LAD	1.44 ^b	1.61 ^{ab}	1.77 ^a	1.83 ^a	0.072	0.002
Celulosa	42.67 ^a	37.29 ^b	37.49 ^b	37.40 ^b	0.691	<0.001

a,b,c Letras diferentes en columna indican diferencias significativas ($P < 0.05$)

Las fracciones de fibra FDN y FDA fueron menores ($P < 0.001$) al adicionar los suplementos al chaparro prieto. Sin embargo, en las dietas de chaparro prieto adicionadas respectivamente con 10% de cada uno de los 3 suplementos el contenido de lignina fue mayor ($P < 0.01$) al del chaparro prieto.

El contenido de proteína cruda registrado en muestras de chaparro prieto (13.65%) fue menor ($P < 0.001$) al obtenido cuando se adicionó 10% de harina de soya (13.95%), sin embargo, al adicionar 10% de grano de sorgo (11.57%) y 10% de cáscara de naranja (10.80%) se registraron valores de proteína cruda menores al promedio que originalmente se determinó en el chaparro prieto.

4.3.2 Producción de gas, digestibilidad y energía metabolizable de las dietas experimentales

4.3.2.1 Producción de gas, digestibilidad y energía metabolizable de dietas elaboradas a base de pasto Buffel

En el Cuadro 19 se muestran los resultados de producción de gas a las 24 horas de incubación (ml/200 mg), digestibilidad *in vitro* de la materia seca (%), contenido de energía metabolizable (kcal/kg de materia seca) y digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (%) en pasto Buffel, así como en las dietas elaboradas al adicionar 10% del suplemento correspondiente.

Cuadro 19. Valores medios de PG 24 h, DIVMS, EM y DIVMO, en muestras de pasto Buffel y en 3 dietas elaboradas con 90% de pasto Buffel y 10% del suplemento correspondiente (grano de sorgo, harina de soya y cáscara de naranja).

Parámetro	Pasto Buffel	Dieta: 90% pasto Buffel +			Estadístico	
		Grano de sorgo	Harina de soya	Cáscara de naranja	EEM	Valor P
PG 24h	19.22	20.08	19.00	19.92	1.989	0.970
DIVMS	45.96	45.17	45.71	46.69	1.357	0.884
EM	1200	1158	1188	1161	69.011	0.938
DIVMO	40.80	40.60	41.68	40.39	1.782	0.958

La adición de los suplementos grano de sorgo, harina de soya y cáscara de naranja a dietas elaboradas a base de pasto Buffel no resultó en diferencia significativa ($P > 0.05$) entre tratamientos para los parámetros de producción de gas, energía metabolizable y digestibilidad de la materia seca y la materia orgánica (Cuadro 19).

4.3.2.2 Producción de gas, digestibilidad y energía metabolizable de dietas elaboradas a base Huizache

En el Cuadro 20 se muestran los resultados de producción de gas (ml/200 mg) a las 24 horas de incubación, digestibilidad *in vitro* de la materia seca (%), contenido de energía metabolizable (kcal/kg de materia seca) y digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (%) en dietas elaboradas a base de huizache adicionadas con el 10% de los suplementos evaluados.

Cuadro 20. Valores medios de PG 24h, DIVMS, EM, DIVMO, en muestras de huizache y en 3 dietas con 90% de huizache adicionadas con el 10% de los suplementos (grano de sorgo, harina de soya y cáscara de naranja).

Parámetro	Huizache	Dieta: 90% Huizache +			Estadístico	
		Grano de sorgo	Harina de soya	Cáscara de naranja	EEM	Valor P
PG 24h	23.7 ^b	26.75 ^{ab}	24.17 ^b	32.33 ^a	1.963	0.012
DIVMS	61.62 ^b	65.50 ^a	64.73 ^a	65.00 ^a	0.623	<0.001
EM	1806	1761	1781	2012	71.725	0.063
DIVMO	51.87	51.87	52.22	57.49	1.914	0.118

^{a,b,c} Letras diferentes en columna indican diferencias significativas ($P < 0.05$)

La producción de gas *in vitro* a las 24 horas de incubación (PG24h) en hojas de huizache registró valores de 23.7 ml gas/200 mg MS y al adicionarle cáscara de naranja al forraje, la PG24h aumentó ($P < 0.05$) a 32.3 ml gas/200 mg MS.

En las dietas elaboradas a base de huizache se observó un incremento significativo ($P < 0.01$) en la digestibilidad de la materia seca, al adicionar los suplementos al forraje, incrementando su digestibilidad de (61.62%) en huizache hasta (65.50%) al adicionar el grano de sorgo a la dieta.

La energía metabolizable y la digestibilidad de la materia orgánica no fueron diferentes ($P > 0.05$) al adicionar 10% de suplementos a la dieta elaborada a base de huizache (Cuadro 20).

4.3.2.3 Producción de gas, digestibilidad y energía metabolizable de dietas elaboradas a base de Chaparro prieto

En el Cuadro 21 se muestran los resultados de producción de gas (ml/200 mg) a las 24 horas de incubación, digestibilidad *in vitro* de la materia seca (%), contenido de energía metabolizable (kcal/kg de materia seca) y digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (%) en dietas elaboradas a base de chaparro prieto adicionadas con el 10% de los suplementos evaluados.

Cuadro 21. Valores medios de PG 24h, DIVMS, EM y DIVMO en muestras de Chaparro prieto y en 3 dietas con 90% de Chaparro prieto adicionadas con el 10% de los suplementos (grano de sorgo, harina de soya y cáscara de naranja).

Parámetro	Chaparro prieto	Dieta: 90% chaparro prieto +			Estadístico	
		Grano de sorgo	Harina de soya	Cáscara de naranja	EEM	Valor P
PG 24h	13.33	15.17	13.50	17.33	1.251	0.910
DIVMS	48.52 ^b	50.97 ^{ab}	48.08 ^b	52.30 ^a	1.004	0.011
EM	1076	1049	1082	1167	41.746	0.375
DIVMO	37.67	37.82	38.26	40.32	1.060	0.261

^{a,b} Letras diferentes en columna indican diferencias significativas ($P < 0.05$)

La digestibilidad de la materia seca incrementó significativamente (de 48.5% a 52.3% de DIVMS; $P < 0.05$) al adicionar cáscara de naranja al chaparro prieto. Para los parámetros de PG24h, EM y DIVMO no se observó diferencia significativa ($P > 0.05$) al adicionar 10% de los correspondientes suplementos grano de sorgo, harina de soya y cáscara de naranja a la dieta a base de 90% de chaparro prieto.

5. Discusión

En el presente trabajo se obtuvieron resultados que cumplieron con el objetivo general planteado, de determinar el valor nutricional de diferentes muestras de pasto Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.), chaparro prieto (*Acacia rigidula*) y huizache (*Acacia farnesiana*), así como de los suplementos, grano de sorgo, harina de soya y cáscara de naranja, y de dietas elaboradas con cada uno de los tres forrajes evaluados, asociados cada uno con cantidades limitadas de cada uno de los tres suplementos.

El trabajo realizado permitió obtener resultados de los objetivos específicos, que permitieran validar (o eventualmente refutar) la hipótesis planteada al inicio de la investigación, en el sentido de que la incorporación de suplementos como el grano de sorgo, la harina de soya y la cáscara de naranja mejoraría los parámetros de digestibilidad y degradabilidad ruminal *in vitro* y el valor nutricional de dietas elaboradas a base de forrajes convencionales del Noreste de México.

A continuación se procederá a discutir en específico los resultados obtenidos.

5.1. Forrajes

5.1.1 Análisis del valor nutricional de los forrajes evaluados

Los valores de proteína cruda obtenidos en muestras de pasto Buffel (7.60 % en MS) en este estudio, fueron similares a los obtenidos por Ramírez *et al.* (2004), con una media anual de 9.0 % en MS, en muestras de pasto Buffel colectadas en las diferentes estaciones del año, pero fueron menores al valor promedio anual de 13.1 % de proteína cruda en MS reportado por Ramírez *et al.* (1995), en muestras de pasto Buffel colectadas en los diferentes meses del año. Esto indica que tanto la época del año, así como la región del predio, tienen influencia en el contenido proteico del pasto Buffel.

El contenido de proteína cruda determinado en muestras de hojas de huizache en este estudio (17.26% en MS) fue similar al 17.3% en MS reportado por Zapata *et al.* (2020). El contenido de PC obtenido en muestras de hojas de chaparro prieto en el

presente trabajo (13.76% MS) es similar al 15.1% en MS reportado por Ramírez y Lara (1998). En ese sentido, en el presente estudio el contenido de proteína del huizache fue 120% mayor y el de chaparro prieto es 81% mayor al contenido de proteína del pasto Buffel (7.60 % en MS).

Todas estas variaciones de contenido proteico del pasto Buffel a lo largo del año, así como los altos contenidos de proteína cruda de las hojas de arbustivas evaluadas, son importantes características que determinan por una parte la potencialidad de cubrir los requerimientos nutricionales y energéticos para las diferentes funciones biológicas de los animales. Por lo anterior, Ramírez y Ledezma, (1997), concluyeron que arbustos nativos ricos en proteínas en combinación con pasto Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) proporcionados como fuente de forraje a pequeños rumiantes podría mejorar la productividad del hato. De acuerdo a NRC (2007), una cabra de raza Alpina (tipo lechero) de 60 kg de peso corporal que se encuentre en producción de entre 2 y 3 litros de leche por día, requiere consumir alimento con aproximadamente 12.5% de proteína cruda.

Vásquez (2014), reportó en muestras de pasto Buffel colectadas a lo largo del año, valores de extracto etéreo con una media de 2.2% en MS, y con ello similares a los encontrados en las muestras de pasto Buffel en el presente trabajo (1.97 % en MS). De acuerdo con Fox *et al.* (2004), el contenido de EE juega un papel importante en el aporte de energía en dietas para pequeños rumiantes; sin embargo, un contenido de EE superior al 4.5% de grasa en la dieta de rumiantes ha sido reportado como causa de afectación de la fermentación ruminal (Cunningham y Klein, 2003).

El contenido de extracto etéreo obtenido en las muestras de hojas de huizache del presente estudio (7.33% en MS) es similar al contenido de 6.5% en MS reportado por Zapata *et al.* (2020).

Así mismo, el promedio de los resultados del contenido de cenizas registrados en las muestras de pasto Buffel en este estudio (8.33% de MS) fue similar a lo

reportado por Macías *et al.* (2010) para muestras de heno de pasto Buffel (8.3% MS). Sin embargo, los valores de cenizas de muestras de huizache del presente trabajo (12.56% en MS), fueron mayores al valor 5.7% en MS, reportado por Abdelfattah *et al.* (2013), y también fueron mayores al contenido de cenizas determinado en el presente estudio para el pasto Buffel (8.33% de MS).

El contenido de FDN presente en las muestras de pasto Buffel (73.7 % en MS) del presente estudio, fue similar a los valores reportados por Macías *et al.* (2010) y por Da Silva *et al.* (2018), para heno de pasto Buffel (78.6% y 74% MS, respectivamente). Estos altos valores de FDN en las muestras de pasto Buffel evaluados en el presente estudio corresponden a la alta proporción de tejido vascular típico de las especies de pasto tropicales, con metabolismo C₄, comparado con las plantas de metabolismo C₃ de pastos de climas templados, en los cuales la proporción de tejido mesófilo es mayor (Dryden, 2008).

El resultado promedio de FDA obtenido en el presente estudio para el pasto Buffel (49.6% en MS) concuerda a la media anual de 46.6% FDA en MS reportada por Ramírez *et al.* (1995) en muestras de pasto Buffel; sin embargo, son menores a la media anual de 33.2% FDA en MS, reportada por Vásquez (2014). FDA corresponde al componente lignocelulósico de las células vegetales (Chávez-Espinoza *et al.*, 2021). Cuando el contenido de FDA es alto, generalmente se tiene un menor contenido de energía metabolizable en el alimento (NRC, 2007).

El huizache es un arbusto que presenta un alto valor nutricional, asociado a un moderado contenido en fibra, en contraste con otros forrajes convencionales utilizados en la alimentación de pequeños rumiantes. Los contenidos de FDN (34.64% MS) y FDA (28.99% MS) en las muestras de huizache del presente trabajo, concuerdan con los valores de 39.5% para FDN y de 23.4% para FDA, reportados por Ramírez y Lara *et al.* (1998).

Los contenidos de FDN y FDA registrados en muestras de hojas de chaparro prieto en el presente estudio, fueron de 48.28% FDN y de 43.45% FDA en MS. Ramírez y

Lara (1998) reportaron valores similares para FDN (49.3%), aunque menores (36.5%) para el contenido de FDA.

En el huizache se tuvieron contenidos que representan un 46% (FDN) y 58% (FDA) de los correspondientes contenidos determinados en el pasto Buffel de este estudio. En cambio, el contenido de FDN de las hojas de huizache correspondió a aproximadamente un 71% del contenido de FDN de las hojas de chaparro prieto. En el caso de FDA, el contenido de las hojas de huizache correspondió a un 67% del FDA de las hojas de chaparro prieto.

El contenido de lignina ácido detergente (LAD) determinado en muestras de pasto Buffel del presente estudio (1.75% MS), fue notoriamente menor a los valores reportados por González *et al.* (1998), en muestras de pasto Buffel colectadas de septiembre a noviembre (5.5% en MS), así como por Vásquez (2014) (media anual de 5.3% LAD en MS). Sin embargo, Morales-Rodríguez *et al.* (2006), al evaluar la composición química de 78 genotipos de pasto Buffel en la localidad de Gral. Terán Nuevo León, reportaron un promedio de 3.1% de lignina, con una desviación estándar de 2. Es decir, el 66% de las muestras tenían valores de entre 1.1 y 5.1% de lignina.

En cuanto al contenido de lignina presente en hojas de chaparro prieto en el presente estudio (1.45% MS), fue menor a los valores reportados por Ramírez y Lara (1998) (6.9%) y por Ramírez y Ledezma (1997) (19.2% LAD en MS).

En el presente trabajo se obtuvieron valores de 24.09% de hemicelulosa en MS y de 47.86% de celulosa en MS, en muestras de pasto Buffel. Valores similares de hemicelulosa (media anual de 27.6% en MS) fueron reportados por Vásquez (2014), y Macías *et al.* (2010) reportaron valores del contenido de celulosa en pasto Buffel (37.5% MS) similares a los del presente trabajo.

La fracción fibrosa de un pasto, compuesta por celulosa, hemicelulosa y lignina, es un componente importante de los alimentos, debido a que su presencia contribuye a determinar la cantidad potencial de energía, y su aprovechamiento potencial, lo cual contribuye a determinar la variabilidad igualmente alta que de otros componentes nutricionales de los alimentos (Ferro *et al.*, 2013).

En el presente estudio, la determinación del contenido de los componentes fibrosos de los alimentos evaluados fue muy importante, porque al conjuntar información valiosa de este tipo, se permite explorar relaciones en un futuro para establecer asociaciones entre componente fibrosos y características de valor energético, digestibilidad y aprovechamiento en general que puedan hacer los animales de los alimentos consumidos, en base a análisis del tipo de alimento consumido.

5.1.2 Producción de gas, digestibilidad y energía metabolizable de los forrajes evaluados

La producción de gas *in vitro* es una técnica que ha sido empleada para medir la degradación ruminal de alimentos (Getachew *et al.*, 1998). También pueden ser determinados a partir de la producción de gas *in vitro*, junto con datos de la composición química de las muestras analizadas de los alimentos evaluados, la digestibilidad de la materia orgánica, y la concentración de energía (Melesse *et al.*, 2017), en forma semejante a la metodología empleada en el presente estudio.

En el presente estudio, la producción de gas a 24h en las muestras de pasto Buffel (19.2 ml/200 mg MS) fue algo menor a los valores reportados por González *et al.* (1998), en muestras de pasto Buffel colectadas de abril a junio (25 ml/200 mg MS), o de septiembre a noviembre (36 ml/200 mg MS). Quizá la diferencia en contenido de FDN en las muestras de pasto Buffel de la presente investigación (73.7% en MS), y los de González *et al.*, (1998) (67.1% en MS), pueda haber la causa de esta diferencia observada entre ambas investigaciones, ya que de acuerdo a Maccarana *et al.* (2016), cuando las muestras tienen mayor contenido de FDN, se registra una menor producción de gas *in vitro*.

La producción de gas *in vitro* involucra tanto la fermentación del almidón como de los componentes fibrosos del alimento, por lo que la presencia de carbohidratos no

estructurales de rápida degradación en la planta disminuiría el contenido de FDN, incrementando la producción de gas (Lara *et al.*, 2009).

En las muestras de huizache en el presente estudio, la producción de gas a las 24 horas de incubación fue en promedio 23.71 ml/200 mg MS, es decir, un valor menor a los 46.24 ml/200 mg MS, reportado por Abdelfattah *et al.* (2013), en muestras de hojas de huizache.

Tikam *et al.* (2015), evaluaron la producción de gas a las 24 h de incubación en pasto pangola y reportaron valores que oscilaban entre 37 y 41 ml/200 mg. Los valores de producción de gas considerablemente menores de los forrajes evaluados en el presente estudio, pueden ser atribuidos a la cantidad de carbohidratos rápidamente fermentables en las muestras evaluadas, y/o por mayor grado de maduración (Thiuten y Sommart, 2012).

Navarro y Roa (2020), evaluaron la digestibilidad *in vitro* de la materia seca utilizando la técnica de incubación de muestras de pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) en líquido ruminal y reportaron 38.97% de digestibilidad de la MS a las 48 h de incubación. Estos valores son similares a los del presente trabajo en donde se reportaron valores de DIVMS en muestras de pasto Buffel de 45.96% MS.

La producción de gas *in vitro* es una media indirecta de la degradación de los sustratos, particularmente de los carbohidratos (Lara *et al.*, 2009). Por tanto, puede utilizarse para evaluar la tasa y extensión de la digestión de los ingredientes y para predecir los valores de EM de los ingredientes o de la dieta (Menke y Steingass, 1988).

Uno de los factores que impactan negativamente en el contenido energético de los forrajes es el estado fenológico de la planta, ya que a medida que avanza el estado de madurez, aumenta la formación de componentes estructurales como la fibra detergente neutro y ácido (Pirela, 2005).

Un factor principal en la implementación de técnicas *in vitro* va relacionado con el buffer y su preparación. Debido a que debe ser un medio apropiado para que se desarrollen los microorganismos del rumen, el buffer debe estar saturado con CO₂, con la finalidad de evitar el efecto del incremento del potencial redox en los

componentes del inóculo; es decir, se debe disminuir la oxidación de algunos de los componentes y la presencia de oxígeno. La ausencia de anaerobiosis generará pérdida de actividad de bacterias celulolíticas y amilolíticas, que disminuirán significativamente la actividad de degradación del de alimentos incubados en el inóculo ruminal, por lo que esto resultaría en una menor digestibilidad (Vargas *et al.*, 2013).

5.2 Suplementos

5.2.1 Análisis del valor nutricional de los suplementos evaluados

Como parte de las estrategias propuestas para complementar el valor nutricional de los forrajes, para cubrir los requerimientos de energía y nutrientes de los animales en los diferentes estados fisiológicos, se contempla la inclusión de algunos suplementos, tales como los evaluados en el presente trabajo: grano de sorgo, harina de soya y cáscara de naranja. Un primer paso para determinar el grado en que deban ser utilizados, es el conocimiento de su composición química.

El contenido de PC determinado en muestras de grano de sorgo en el presente estudio fue de 9.04% PC en MS. Valores similares fueron reportados por Trujillo *et al.* (2017), con 6.8% de PC.

Contrario a lo que normalmente se menciona como contenido normal de proteína de la harina de soya (48% de proteína cruda en base a MS), las muestras analizadas en el presente trabajo, tuvieron un contenido de PC que en promedio fue de 42.8% en base MS. Ibáñez *et al.* (2020) analizaron muestras de harina de soya de diversos orígenes y reportaron contenidos en un rango entre 47.5 y 56.8% PC en MS, señalando que, además del origen, el contenido de proteína puede variar significativamente en forma inversamente proporcional al contenido de fibra. Por ese motivo, se debe tener cuidado de realizar análisis rutinarios del contenido de proteína de la fuente de harina de soya que se esté utilizando en el sistema pecuario.

Contrastando con el contenido del suplemento proteico harina de soya, el contenido de PC en muestras de cáscara de naranja evaluadas en el presente estudio fue de

4.91% de proteína en base MS, lo cual coincide con el valor de 5.7% PC en MS reportado por Ahmadi *et al.* (2015), en muestras de cáscara de naranja.

La composición química de las muestras de cáscara de naranja en el presente estudio coincide con la reportada por Bampidis y Robinson (2006), para proteína, FDN y CNE, así como por Sharma *et al.* (2017) para cenizas.

En el presente trabajo, el contenido de extracto etéreo registrado en la materia seca de las muestras de los suplementos grano de sorgo (1.79%), harina de soya (1.65%) y de cáscara de naranja (2.09%) fueron similares a los contenidos reportados por Aguerre *et al.* (2013), (1.8% EE en MS para grano de sorgo), por Ibáñez *et al.* (2020), (1.9% de EE en muestras de harina de soya comerciales de diferentes orígenes), y por Andrade *et al.* (2020) (3.4% de EE en muestras de pulpa de naranja),

Los tres suplementos evaluados tuvieron contenidos de FDN entre 16 (harina de soya) y 22.3% (grano de sorgo). El contenido de FDA osciló entre 7.8% (harina de soya) y 14.8% (cáscara de naranja). Estos valores concuerdan con los reportados previamente por Aguerre *et al.* (2013), para grano de sorgo, Dentinho *et al.* (2014), para muestras de harina de soya, y Nordi *et al.* (2014) y Williams *et al.* (2018) para cáscara de naranja.

Trujillo *et al.* (2017), ha reportado también un contenido de lignina similar al de la presente investigación en muestras de grano de sorgo. Los contenidos de celulosa (13.94%), hemicelulosa (4.30%) y lignina (0.88%) presentes en muestras de cáscara de naranja en el presente trabajo, fueron menores a los reportados por Macías *et al.* (2010), en muestras de pulpa de naranja fresca (25.4%, 11.5% y 3.3%, respectivamente).

Estos valores permiten concluir que los suplementos evaluados en el presente trabajo tienen un alto contenido de carbohidratos solubles fácilmente fermentables de rápida digestión, tal y como los mencionaron Caparra *et al.* (2007) y Rodríguez *et al.* (2019), para la pulpa de cítricos.

Aún y cuando tienen la capacidad de aportar altas cantidades de nutrientes y fácilmente aprovechables por los animales, se recomienda que su inclusión en la dieta a base de forrajes sea limitada, con el fin de evitar trastornos digestivos

asociados con la fisiología ruminal, tales como acidosis, timpanismo, enterotoxemia, polioencefalomalacia, toxicidad por amoníaco, o urolitiasis (NRC, 2007).

5.2.2 Producción de gas, digestibilidad y energía metabolizable de los suplementos evaluados

Un aspecto que captó la atención de los valores registrados durante la presente investigación fueron los valores altos de producción de gas *in vitro* a las 24 horas de incubación de muestras de cáscara de naranja en líquido ruminal *in vitro* (66.3 ml/200 mg MS), los cuales fueron 33% mayores a los registrados para grano de sorgo, e incluso 82% superiores a los registrados para las muestras de harina de soya.

Al consultar la literatura científica, se constató que la alta producción de gas *in vitro*, registrada en el presente trabajo para la cáscara de naranja, fue similar a lo reportado por Ahmadi *et al.* (2015), aunque 55% superior al valor reportado (42.8 ml/200 mg MS) por Palangi *et al.* (2013). García *et al.* (2019) reportaron valores que fluctuaron entre 44.8 ml/200 mg MS y 62.8 ml/200 mg MS para muestras de pulpa de naranja colectadas en Murcia y Aragón, respectivamente.

En general, en el presente estudio se determinó alta tasa de digestibilidad *in vitro* de la materia seca determinada en las muestras de grano de sorgo (85.6%), harina de soya (90.0%) y cáscara de naranja (93.9%); valores que contrastan con digestibilidad *in vitro* de la materia seca de pasto Buffel (45.9%), chaparro prieto (48.5%) y huizache (61.6%). Para cáscara de naranja, García *et al.* (2019) y Vásquez (2014), reportaron valores de DIVMS en muestras de cáscara de naranja similares a los del presente estudio.

El suplemento con el mayor contenido de energía en el presente estudio fue la cáscara de naranja, con 2,864 kcal de energía metabolizable/kg MS, en concordancia con el valor reportado por García *et al.* (2019), Ahmadi *et al.* (2015), y Vásquez (2014). También, el contenido de energía metabolizable de grano de sorgo y de harina de soya del presente estudio fueron considerablemente altos

(2314 y 2434 kcal de energía metabolizable/kg MS, respectivamente), que contrastan con valores de entre 1076 (chaparro prieto) y 1806 kcal de energía metabolizable/kg MS (huizache), que fueron determinados para los forrajes evaluados en el presente trabajo. De acuerdo a Arce *et al.* (2020), alimentos con alto contenido en fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina ácido detergente (LAD) influyen negativamente, mientras que los alimentos con alto contenido en proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE) y carbohidratos no estructurales (CNE) tienen una correlación positiva en la producción de gas *in vitro*, contenido de energía metabolizable y digestibilidad *in vitro* de la MS y la MO.

5.3 Dietas experimentales

5.3.1. Análisis del valor nutricional de dietas experimentales

En el presente estudio la inclusión del 10% de harina de soya mejoró significativamente ($P < 0.01$) hasta en 9.06% el contenido de PC en la dieta elaborada a base de pasto Buffel con 7.60% PC. Los resultados de Avilés *et al.* (2013), son similares a los del presente estudio, en el sentido de que los contenidos de materia seca, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido disminuyeron, mientras que los de materia orgánica y de proteína cruda incluidas sus fracciones aumentaron de forma lineal, a medida que se incrementaban los niveles de inclusión de *Gliricidia sepium* en una dieta elaborada a base de pasto Buffel.

El contenido de PC observado en muestras de alimentos para pequeños rumiantes en el presente estudio es de vital importancia ya que la suplementación con proteínas en la dieta mejora el consumo al aumentar el suministro de N a los microorganismos ruminales aumentando la población microbiana, lo que permite aumentar la tasa de degradación ruminal (Belanche *et al.*, 2012).

El contenido de PC de las dietas experimentales elaboradas a base de arbustos nativos, huizache y chaparro prieto (12 a 18%) fue adecuado para cumplir con los requerimientos de proteína del 14% recomendados por NRC (2007) para corderos de pelo en crecimiento.

Macías *et al.* (2010), evaluaron el efecto de suplementar con diferentes niveles de pulpa fresca de naranja en una dieta elaborada a base de pasto Buffel en corderos de pelo. En cuanto a la composición química, la pulpa de naranja mejoró la calidad nutritiva de la dieta a base de heno de pasto Buffel. El contenido de PC y MO de las dietas experimentales aumentaron y el contenido de las fracciones fibrosas tendieron a disminuir al aumentar el nivel de inclusión de pulpa de naranja en la dieta.

Los resultados encontrados por Macías *et al.* (2010) son similares a los del presente estudio, ya que el contenido de fibra detergente neutro, fibra detergente ácido y sus fracciones disminuyeron ($P<0.01$) al adicionar 10% de cáscara de naranja a la dieta a base de pasto Buffel. Sin embargo, difieren en el sentido de que el contenido de PC disminuyó ($P<0.01$) al adicionar cáscara de naranja a la dieta a base de pasto Buffel. Pereira y González (2004) afirmaron que los subproductos cítricos son fuente de fibra más digestible que los forrajes secos, debido a su alto contenido de pectina y bajo contenido de lignina.

5.3.2 Producción de gas, digestibilidad y energía metabolizable de las dietas experimentales

Lara *et al.* (2009) evaluaron el efecto de la adición de maíz a una dieta a base del árbol de morera (*Morus alba*) en la producción de gas *in vitro*. La inclusión de maíz a la dieta fue de 33, 67 y 100%. Al incrementar los niveles de inclusión del maíz en la dieta y con ello incrementar la cantidad de carbohidratos no fibrosos disponibles para los microorganismos, éstos influyeron directamente en un incremento en la producción de gas. Estos resultados concuerdan con los del presente estudio en donde la PGIV a las 24h de incubación en la dieta a base de hojas de huizache se incrementó ($P<0.05$) al adicionar los suplementos con alto contenido de carbohidratos no fibrosos como lo son la cáscara de naranja y grano de sorgo, tal y como lo han observado también Liu *et al.* (2002).

Bampidis y Robinson (2006) afirmaron que cuando se usa paja como alimento básico para rumiantes, la adición de subproductos cítricos a la dieta mejora el perfil

de nutrientes al cubrir las deficiencias nutricionales que presenta la paja y mejorar la digestibilidad de la dieta.

Kumar *et al.* (2013), evaluaron la producción de gas *in vitro* y la digestibilidad de la materia seca en 3 dietas con diferentes proporciones (80:20, 50:50 y 20:80) de forraje:concentrado. Los valores de la DIVMS aumentaron a medida que se incrementaba el concentrado en la dieta; de 47.67% para la dieta con 80:20, hasta 67.33% para la dieta con 20:80 de proporción forraje:concentrado. Estos valores concuerdan con los del presente trabajo, en el sentido de que la DIVMS para la dieta elaborada a base de hojas de huizache incrementó ($P<0.01$) de 61.62% en hojas de huizache hasta 65.50% con la adición del 10% de grano de sorgo a la dieta.

En suma, los efectos observados al evaluar el efecto de incluir una suplementación limitada (10%) de concentrados principalmente energéticos, tales como grano de sorgo y cáscara de naranja, o principalmente proteicos, tales como la harina de soya, a dietas a base de hojas de pasto Buffel o de dos arbustivas (huizache y chaparro prieto) permiten predecir cuantitativamente el efecto mejorador en el valor nutricional y energético para los caprinos y ovinos. No obstante, se requiere evaluar más forrajes con otras fuentes de carbohidratos rápidamente fermentables, con la finalidad de obtener más información que contribuya a mejorar la alimentación de estos pequeños rumiantes.

6. Conclusiones

Se describieron particularidades en la composición química de la fracción fibrosa de los forrajes evaluados en el presente estudio y se describió cuantitativamente su aporte energético.

Las hojas de huizache y la cáscara de naranja deshidratada son importantes fuentes de nutrientes y energía para los pequeños rumiantes del Noreste de México.

La adición del 10% de cáscara de naranja a dietas experimentales elaboradas a base de huizache y chaparro prieto, mejoró los parámetros de producción de gas *in vitro* y los valores de digestibilidad *in vitro* de la materia seca, respectivamente.

La inclusión de suplementos a las dietas basadas en forrajes mejoró los patrones de fermentación al lograr un efecto aditivo en la producción acumulada de gas. Además, se incrementó la digestibilidad *in vitro* de la materia seca y de la materia orgánica.

Estos resultados confirman la hipótesis del presente estudio, de que la incorporación de suplementos mejorará el valor nutricional de dietas elaboradas a base de forrajes convencionales del Noreste de México.

7. Bibliografía

- Abdelfattah, Z.M.S., Z. Chuan-she, T. Zhi-liang, M. Mellado, S.M. Cipriano, M.M.E. Mona, N.E. Odongo. 2013. *In vitro* ruminal gas production kinetics of four fodder trees ensiled with or without molasses and urea. J. Integrative Agric. 12(7): 1234-1242.
- Abo-Zeid, H.M., H.M. El-Zaiat, A.S. Morsy, M.F.A. Attia, M.A. Abaza, S.M.A. Sallam. 2017. Effects of replacing dietary maize grains with increasing levels of sugar beet pulp on rumen fermentation constituents and performance of growing buffalo calves. Anim. Feed Sci. Technol. 234: 128–138.
- Aguerre, M., C. Cajarville, G.V. Kozloski, J.L. Repetto. 2013. Intake and digestive responses by ruminants fed fresh temperate pasture supplemented with increased levels of sorghum grain: A comparison between cattle and sheep. Anim. Feed Sci. Technol. 186: 12-19.
- Ahmadi, F., M.J. Zamiri, M. Khorvash, Z. Banihashemi, A.R. Bayat. 2015. Chemical composition and protein enrichment of orange peels and sugar beet pulp after fermentation by two *Trichoderma* species. Iranian J. Vet. Res. Shiraz University. 16: 25-30.
- Andrade, W.R., P.A.J. Vieira, D.J.M. Oliveira. 2020. Citrus Co-Products in Ruminants Feeds. Iranian J. Applied Anim. Sci. 10(2): 191-202.
- Arce-Ramírez, W., A. Rojas-Bourrillon, C.M. Campos-Granados. 2020. Determinación del contenido energético de materiales forrajeros a través de la relación entre la técnica de producción de gas *in vitro* y la ecuación mecanicista del NRC (2001). Nut. Anim. Trop. 14(1): 13-35.
- Arriaga-Jordán, C., F. Flores-Gallegos, G. Peña-Carmona, B. Albarrán-Portillo, A. García-Martínez, A. Espinosa-Ortega, C. González-Esquivel, O. Castelán-Ortega. 2001. Participatory on-farm evaluation of the response to concentrate feeding supplementation by cows in early lactation in smallholder peasant dairy production systems in the highlands of central Mexico. J. Agric. Sci., 137: 97-103.
- Avilés-Nieto J.N., F. Castrejón-Pineda, S. Angeles-Campos, J.L. Valle-Cerdán, E. Vargas-Bello-Pérez. 2013. Digestibility of Buffel grass (*Cenchrus ciliaris*) based diets supplemented with four levels of *Gliricidia sepium* hay in hair sheep lambs. Trop. Anim. Health Prod. 45: 1357–1362.
- Bampidis, V.A., P.H. Robinson, 2006. Citrus by-products as ruminant feeds. Anim. Feed Sci. Technol. 128: 175–217.
- Bandyk, C.A., R.C. Cochran, T.A. Wickersham, E.C. Titgemeyer, C.G. Farmer, J.J. Higgins. 2001. Effect of ruminal vs post ruminal administration of degradable

- protein on utilization of low-quality forage by beef steers. *J. Anim. Sci.* 79: 225–231.
- Bargo, F., L.D. Muller, J.E. Delahoy, Y.W. Cassidy. 2002a. Performance of high producing dairy cows with three different feeding systems combining pasture and total mixed rations. *J. Dairy Sci.* 85: 2948–2963.
- Bargo, F., L.D. Muller, G.A. Varga, J.E. Delahoy, Y.W. Cassidy. 2002b. Ruminal digestion and fermentation of high-producing dairy cows with three different feeding systems combining pasture and total mixed rations. *J. Dairy Sci.* 85: 2964–2973.
- Barros-Rodriguez, M., J. Solorio-Sanchez, J. Ku-Vera, A. Ayala-Burgos, C. Sandoval-Castro, G. Solis-Perez. 2012. Productive performance and urinary excretion of mimosine metabolites by hair sheep grazing in a silvopastoral system with high densities of *Leucaena leucocephala*. *Trop. Anim. Health Prod.* 44: 1873-1878.
- Beigh, Y.A., A.M. Ganai, H.A. Ahmad. 2017. Prospects of complete feed system in ruminant feeding. *Vet. World.* 10: 424–437.
- Belanche, A., M. Doreau, J.E. Edwards, J.M. Moorby, E. Pinloche, C.J. Newbold. 2012. Shifts in the rumen microbiota due to the type of carbohydrate and level of protein ingested by dairy cattle are associated with changes in rumen fermentation. *J. Nut.* 142: 1684-1692.
- Benninghoff, J., M. Paschke-Beese, K.H. Südekum, 2015. *In situ* and *in vitro* ruminal degradation of maize grain and untreated or xylose-treated wheat, barley and rye grains. *Anim. Feed Sci. Technol.* 210: 86–93.
- Bohnert, D.W., C.S. Schauer, M.L. Bauer, T. DelCurto. 2002a. Influence of rumen protein degradability and supplementation frequency on steers consuming low-quality forage: I. Site of digestion and microbial efficiency. *J. Anim. Sci.* 80: 2967–2977.
- Bohnert, D.W., C.S. Schauer, T. DelCurto. 2002b. Influence of rumen protein degradability and supplementation frequency on performance and nitrogen use in ruminants consuming low-quality forage: cow performance and efficiency of nitrogen use in wethers. *J. Anim. Sci.* 80: 1629–1637.
- Cabrera-Núñez, A., M. Lammoglia-Villagomez, S. Alarcón-Pulido, C. Martínez-Sánchez, R. Rojas-Ronquillo, S. Velázquez-Jiménez. 2019. Árboles y arbustos forrajeros utilizados para la alimentación de ganado bovino en el norte de Veracruz, México. *Abanico Vet.* 9-913.

- Cai, H., J.B. Dunn, Z. Wang, J. Han, M.Q. Wang. 2013. Life-cycle energy use and greenhouse gas emissions of production of bioethanol from sorghum in the United States. *Biotechnol. Biofuels* 6: 141.
- Cajarville, C., M. Aguerre, J.L. Repetto. 2006. Rumen pH, NH₃-N concentration and forage degradation kinetics of cows grazing temperate pastures and supplemented with different sources of grain. *Anim. Res.* 55: 511–520.
- Cannas, A., L.O. Tedeschi, A.S. Atzori, D.G. Fox. 2006. Prediction of energy requirement for growing sheep with the Cornell net carbohydrate and protein system. In *Nutrient Digestion and Utilization in Farm Animals: Modelling Approaches*. (eds E. Kebreab *et al.*,) CAB International: 99–113.
- Cannas, A., L.O. Tedeschi, A.S. Atzori, D.G. Fox. 2010. The small ruminant nutrition system: development and evaluation of a goat submodel. *Italian J. Anim. Sci.* 6: 609–611.
- Cannas, A., L.O. Tedeschi, D.G. Fox, A.N. Pell, P.J. Van Soest. 2004. A mechanistic model for predicting the nutrient requirements and feed biological values for sheep. *J. Anim. Sci.* 82: 149–169.
- Caparra, P., F. Foti, M. Scerra, M.C. Sinatra, V. Scerra. 2007. Solar-dried citrus pulp as an alternative energy source in lamb diets: Effects on growth and carcass and meat quality. *Small Rum. Res.* 68: 303–311.
- Carvalho, G.G.P., R.A. Rebouças, F.S. Campos, E.M. Santos, G.G.L. Araújo, G.C. Gois, J.S. de Oliveira, R.L. Oliveira, L.M. de A. Rufino, J.A.G. Azevedo, L.G.A. Cirne. 2017. Intake, digestibility, performance, and feeding behavior of lambs fed diets containing silages of different tropical forage species. *Anim. Feed Sci. Tech.* 228: 140–148.
- Cerisuelo, A., V. Moset, J. Bonet, J. Coma, M. Lainez. 2012. Effects of inclusion of sorghum distillers dried grains with solubles (DDGS) in diets for growing and finishing pigs. *Spanish J. Agric. Res.* 10: 1016–1024.
- Cerrillo Soto, M.A., A.S. Juárez. 2004. *In vitro* gas production parameters in cacti and tree species commonly consumed by grazing goats in a semiarid region of North Mexico. *Livestock Res. Rural Develop.* 16: Art # 21.
- Chávez-Espinoza, M., H. Bernal-Barragán, N.C. Vásquez-Aguilar, I. Cantú-Silva, M. Coteria-Correa, A.E. Estrada-Castillón, H. González-Rodríguez, J.I. Sarquis-Ramírez. 2021. Cell-wall composition and digestibility of five native shrubs of the Tamaulipan thornscrub in northeastern Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 24 (#04): 1-15.
- Coppa, M., A. Ferlay, G. Borreani, A. Revello-Chion, E. Tabacco, G. Tornambé, P. Pradel, B. Martin .2015. Effect of phenological stage and proportion of fresh

- herbage in cow diets on milk fatty acid composition. *Anim. Feed Sci. Tech.* 208: 66-78.
- Cunningham, J.G., B.G. Klein. 2003. *Fisiología Veterinaria*. 3a ed. Elsevier, Madrid. 545 p.
- Currier, T.A., D.W. Bohnert, S.J. Falckv, S.J. Bartle. 2004a. Daily and alternate day supplementation of urea or biuret to ruminants consuming low-quality forage: I. Effects on cow performance and efficiency of nitrogen use in wethers. *J. Anim. Sci.* 82: 1508–1517.
- Currier, T.A., D.W. Bohnert, S.J. Falck, C.S. Schauer, S.J. Bartle. 2004b. Daily and alternate day supplementation of urea or biuret to ruminants consuming low-quality forage: II. Effects on site of digestion and microbial efficiency in steers. *J. Anim. Sci.* 82: 1518–1527.
- Da Silva, M.A.J., E.M. Santos, L.A.G. Garcia, E.R. Loiola, O.J. Silva, P.A. Fernandes, S.W.C. Cavalcante, P.D. Marte. 2018. Silages in the form of diet based on spineless cactus and Buffelgrass. *African J. Range Forage Sci.* 35: 121-129.
- Delgadillo-Puga, C., M. Cuchillo-Hilario, L. León-Ortiz, A. Ramírez-Rodríguez, A. Cabiddu, A. Navarro-Ocaña, A.M. Morales-Romero, O.N. Medina-Campos, J. Pedraza-Chaverri. 2019. Goats' Feeding Supplementation with *Acacia farnesiana* Pods and Their Relationship with Milk Composition: Fatty Acids, Polyphenols, and Antioxidant Activity. *Animals*. 9(8): 515.
- Dentinho, M.T.P., A.T. Belo, R.J.B. Bessa. 2014. Digestion, ruminal fermentation and microbial nitrogen supply in sheep fed soybean meal treated with *Cistus ladanifer* L. tannins. *Small Rum. Res.* 119: 57–64.
- Dinesh, K., D.L.K. Chander, S.S. Kundu. 2015. Evaluation of various feedstuffs of ruminants in terms of chemical composition and metabolisable energy content. *Vet. World.* 8(5): 605-609.
- Dixon, R.M., C.R. Stockdale. 1999. Associative effects between forages and grains: consequences for feed utilization. *Aust. J. Agric. Res.* 50, 757–773.
- Dryden, G.McL. 2008. *Animal Nutrition Science*. CABI. UK. 302 pp.
- Elizalde, J.C., N.R. Merchen, D.B. Faulkner. 1999. Supplemental cracked corn for steers fed fresh alfalfa: I. Effects on digestion of organic matter, fiber, and starch. *J. Anim. Sci.* 77: 457–466.
- Fernández, C., I. Pérez Baena, J.V. Marti, J.L. Palomares, J. Jorro-Ripoll, J.V. Segarra. 2019. Use of orange leaves as a replacement for alfalfa in energy and nitrogen partitioning, methane emissions and milk performance of murciano-granadina goats. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 247: 103–111.

- Ferro, M., C. Avelino, A. Moura, D. Moura, J. dos Santos. 2013. Estimativas do valor energético de alimentos para bovinos de corte em condições tropicais: conceitos e aplicações. *Enciclopedia Bios*. 9(16): 1115-1130.
- Forbes, J.M. 2007. A personal view of how ruminant animals control their intake and choice of food: Minimal total discomfort. *Nutr. Res. Rev.* 20: 132–146.
- Fox, D.G., L.O. Tedeschi, T.P. Tylutki, J.B. Russell, M.E. Van Amburgh, L.E. Chase, A.N. Pell, T.R. Overton. 2004. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. *Anim. Feed Sci. Technol.* 112: 29–78.
- Frias, J., Y.S. Song, C. Martínez-Villaluenga, E.G. De Mejia, C. Vidal-Valverde. 2008. Immunoreactivity and amino acid content of fermented soybean products. *J. Agric. Food Chem.* 56: 99-105.
- Frutos, P., G. Hervás, F.J. Giraldes, R. Mantecón. 2004. Tannins and ruminant nutrition. *J. Agric. Res.*, 2: 91-202.
- Galeano, L.M., M.J. Gómez, J.E. Gómez. 2013. Caracterización de los sistemas de pastoreo de pequeños rumiantes en el sur del Tolima. *Rev. Col. Cien. Anim.* 6(1): 74-84.
- García-Rodríguez, J., M.J. Ranilla, J. France, H. Alaiz-Moretón, M.D. Carro, S. López. 2019. Chemical composition, *in vitro* digestibility and rumen fermentation kinetics of agro-industrial by-products. *Animals*. 9(11): 861.
- Garg, M.R., A. Kannan, S.K. Shelke, B.T. Phondba, P.L. Sherasia. 2012. Nutritional evaluation of some ruminant feedstuffs by *in vitro* gas production technique. *Indian J. Anim. Sci.*, 82(8): 898-902.
- González Ronquillo, M., M. Fondevila., A. Barrios Urdaneta., Y. Newman. 1998. *In vitro* gas production from Buffel grass (*Cenchrus ciliaris* L.) fermentation in relation to the cutting interval, the level of nitrogen fertilization and the season of growth. *Anim. Feed Sci. Technol.* 72: 19–32.
- Gonzalez-Vega, J.C., B.G. Kim, J.K. Htoo, A. Lemme, H.H. Stein. 2011. Amino acid digestibility in heated soybean meal fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 89: 3617–3625.
- Guerrero, M., M.A. Cerrillo-Soto, R.G. Ramírez, A.Z.M. Salem, H. González, A.S. Juárez-Reyes. 2012. Influence of polyethylene glycol on *in vitro* gas production profiles and microbial protein synthesis of some shrub species. *Anim. Feed Sci. Technol.* 176: 32–39.
- Humer, E., Q. Zebeli. 2015. Phytate in feed ingredients and potentials for improving the utilization of phosphorus in ruminant nutrition. *Anim. Feed Sci. Technol.* 209: 1–15.

- Humer, E., Q. Zebeli. 2017. Grains in ruminant feeding and potentials to enhance their nutritive and health value by chemical processing. *Anim. Feed Sci. Technol.* 226: 133-151.
- Ibáñez, M.A., C. de Blas, L. Cámara, G.G. Mateos. 2020. Chemical composition, protein quality and nutritive value of commercial soybean meals produced from beans from different countries: A meta-analytical study. *Anim. Feed Sci. Technol.* 267: 114531.
- Johnson, K.A., D.E. Johnson. 1995. Methane emissions in cattle. *J. Anim. Sci.* 73: 2483–2492.
- Kamalak, A. 2006. Determination of nutritive value of a native grown shrub, *Glycyrrhiza glabra* L. using *in vitro* and *in situ* measurements. *Small Rum. Res.* 64: 268-278.
- Kiran, D., U. Krishnamourthy. 2007. Rumen fermentation and microbial biomass synthesis indices of tropical feedstuffs determined by the *in vitro* gas production technique. *Anim. Feed Sci. Technol.* 134: 170-179.
- Kishida, T., H. Ataki, M. Takebe, K. Ebihara. 2000. Soybean meal fermented by *Aspergillus awamori* increases the cytochrome p-450 content of the liver microsomes of mice. *J. Agric. Food Chem.* 48: 1367-1372.
- Kökten, K., M. Kaplan, R. Hatipoğlu, V. Saruhan, S. Çınar. 2012. Nutritive value of mediterranean shrubs. *J. Anim. Plant Sci.* 22(1): 188-194.
- Kotsampasi, B., E. Tsiplakou, C. Christodoulou, A. Mavrommatis, C. Mitsiopoulou, C. Karaïskou, E. Sossidou, N. Fragioudakis, I. Kapsomenos, V.A. Bampidis, V. Christodoulou, G. Zervas. 2018. Effects of dietary orange peel essential oil supplementation on milk yield and composition, and blood and milk antioxidant status of dairy ewes. *Anim. Feed Sci. Technol.* 245: 20-31.
- Kumar, S., S.S. Dagar, S.K. Sirohi. 2013. Microbial profiles, *in vitro* gas production and dry matter digestibility based on various ratios of roughage to concentrate. *Ann. Microbiol.* 63: 541–545.
- Lara, P.E., C. María, H. Canché, E. Magaña, J. Aguilar, R. Sanginés. 2009. Producción de gas *in vitro* y cinética de degradación de harina de forraje de morera (*Morus alba*) mezclada con maíz. *Rev. Cubana Cien. Agric.* 43: 273-279.
- Lira, R., J. MacAdam, F. Sales, J.J. Villalba. 2020. Supplementation strategies to enhance intake of romerillo (*Chiliotrichum diffusum*) by sheep in southern Patagonia. *Small Rum. Res.* 192: 106205.

- Mabjeesh, S., M. Cohen, A. Arieli. 2000. *In vitro* methods for measuring the dry matter digestibility of ruminant feedstuffs: comparison of methods and inoculum source. J. Dairy Sci. 83: 2289-2294.
- Maccarana, L., M. Cattani, F. Tagliapietra, S. Schiavon, L. Bailoni, R. Mantovani. 2016. Methodological factors affecting gas and methane production during *in vitro* rumen fermentation evaluated by meta-analysis approach. J. Anim. Sci. Biotech. 7: 35.
- Macías, C.U., E.J.A. Quintero, R.L. Avendaño, C.A. Correa, V.F.D. Álvarez, N.S.A. Soto, M.F.A. Lucero, R.A. González. 2010. Buffel grass (*Cenchrus ciliaris*) substitution for orange pulp on intake, digestibility, and performance of hair sheep lambs. Trop. Anim. Health Prod. 42: 223-232.
- Mamani Paredes, J., F.H. Cotacallapa Gutiérrez. 2018. Rendimiento y calidad nutricional de avena forrajera en la región de Puno. Rev. Inv. Altoandinas. 20(4): 385-400.
- Marshall, V.M., M.M. Lewis, B. Ostendorf. 2012. Buffel grass (*Cenchrus ciliaris*) as an invader and threat to biodiversity in arid environments: A review. J. Arid Env. 78: 1-12.
- Martínez, O. 2004. "Bancos de biomasa para la sostenibilidad de la ganadería tropical", en Estrategias de alimentación para ganado bovino en el trópico. La Habana, Cuba: Inst. Cien. Anim. EDICA.
- McGuire, D.L., D.W. Bohnert, C.S. Schauer, S.J. Falck, R.F. Cooke. 2013. Daily and alternate day supplementation of urea or soybean meal to ruminants consuming low-quality cool-season forage: I—Effects on efficiency of nitrogen use and nutrient digestion. Livestock Sci. 155: 205-213.
- Melesse, A., H. Steingass, M. Schollenberger, M. Rodehutschord. 2017. Screening of common tropical grass and legume forages in Ethiopia for their nutrient composition and methane production profile *in vitro*. Tropical Grasslands. 5(3): 163-175.
- Menke, K.H., H. Steingass. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. Anim. Res. Develop. 28: 7-55.
- Menke, K.H., L. Raab, A. Salewski, H. Steingass, H. Fritz, W. Scheneider. 1979. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feeding stuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro*. J. Agric. Sci. Camb. 93: 217–222.

- Min, B.R., T.N. Barry, G.T. Attwood, W.C. McNabb. 2003. The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages. *Anim. Feed Sci. Technol.* 106: 3-19.
- Mojica-Rodríguez, J.E., E. Castro-Rincón, J. Carulla-Fornaguera, C.E. Lascano-Aguilar. 2017. Efecto de la edad de rebrote sobre el perfil de ácidos grasos en gramíneas tropicales. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropec.* 18(2): 217-232.
- Morales-Rodríguez, R., R.G. Ramírez, G.J. García-Dessommes, H. González-Rodríguez. 2006. Nutrient content and *in situ* disappearance in genotypes of Buffelgrass (*Cenchrus ciliaris* L.). *J. Appl. Anim. Res.* 29: 17-22.
- Mukherjee, R., R. Chakraborty, A. Dutta. 2016. Role of fermentation in improving nutritional quality of soybean meal - A Review. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 29(11): 1523–1529.
- Murillo, M., E. Herrera, F.O. Carrete, O. Ruiz, J.S. Serrato. 2012. Chemical composition, *in vitro* gas production, ruminal fermentation and degradation patterns of diets by grazing steers in native range of North Mexico. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 25 10: 1395-1413.
- Narvaez, N., A. Brosh, W. Pittroff. 2010. Seasonal dynamics of nutritional quality of California chaparral species. *Anim. Feed Sci. Technol.* 158 (1-2): 44-56.
- Navarro, O.C.A., and V.M.L. Roa. 2020. Determination of *in vitro* digestibility of forage species used in ruminant feeding. *Trop. Anim. Health Prod.* 52: 3045–3059.
- Nordi, E.C.P., R.L.D. Costa, C.M.G. David, G.A.E. Parren, A.C.B. Freitas, L.P. Lameirinha, L.M. Katiki, M.S. Bueno, C.R. Quirino, P.E. Gama, H.R. Bizzo, A.C.S. Chagas. 2014. Supplementation of moist and dehydrated citrus pulp in the diets of sheep artificially and naturally infected with gastrointestinal nematodes on the parasitological parameters and performance. *Vet. Parasitol.* 205: 532–539.
- NRC, 2007. Nutrient Requirements of Small Ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids. Nat. Academ. Sci. Washington, DC.
- Palangi, V., T. Akbar, K.S. Mohammad. 2013. Determine of nutritive value of dried citrus pulp various using *in situ* and gas production techniques. *J. Bio. Env. Sci.* 3: 8-16.
- Pereira, J.C., J. González. 2004. Rumen degradability of dehydrated beet pulp and dehydrated citrus pulp. *Anim. Res.* 53: 99–110.
- Piaggio, L., M. Marichal, M.L. Del Pino, H. Deschenaux. 2014. Growth rate of weaned lambs grazing brown midrib sorghum (*Sorghum bicolor*)

- supplemented with increasing levels of soybean meal. Anim. Prod. Sci. 54: 1278-1281.
- Pinto, R.R., D. Hernández, H. Gómez, D. Pezo. 2010. Árboles forrajeros de tres regiones ganaderas de Chiapas: usos y características nutricionales, Univ. Cien. 26(1): 19-31.
- Pirela, M. 2005. Valor nutritivo de los pastos tropicales, pp. 176-182. In: C. González-Stagnaro y E. Soto (eds). Manual de ganadería doble propósito. Fundación GIRARZ.
- Posada, S.L., J.R. Rosero. 2006. Valoración de las heces y el líquido ruminal como inóculo en la técnica *in vitro* de producción de gases. Medellín: Universidad de Antioquia. p. 63.
- Ramírez-Lozano, R.G., G.F.W. Haenlein, C.G. García-Castillo, M.A. Núñez-González. 2004. Protein, lignin and mineral contents and *in situ* dry matter digestibility of native Mexican grasses consumed by range goats. Small Rumin. Res. 52: 261-269.
- Ramírez-Lozano, R. G. 2007. Los pastos en la nutrición de los rumiantes. México: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Ramírez, R.G., E. Mireles, J.M. Huerta, J. Aranda. 1995. Forage selection by range sheep on a Buffelgrass (*Cenchrus ciliaris*) pasture. Small Rumin. Res. 17: 129-135.
- Ramírez, R.G., J.A. Lara. 1998. Influence of native shrubs *Acacia rigidula*, *Cercidium macrum* and *Acacia farnesiana* on digestibility and nitrogen utilization by sheep. Small Rumin. Res. 28: 39–45.
- Ramírez, R.G., R.A. Ledezma Torres. 1997. Forage utilization from native shrubs *Acacia rigidula* and *Acacia farnesiana* by goats and sheep. Small Rumin. Res. 25: 43-50.
- Ramos, Z., I. De Barbieri, E. van Lier, F. Montossi. 2018. Body growth and wool characteristics of lambs grazed on native pastures are improved when supplementing with energy and protein. Small Rumin. Res. 171: 92-98.
- Reed, J.D., H. Soller, A. Woodward. 1990. Fodder three and straw diets for sheep: intake, growth, digestibility and the effects of phenolics on nitrogen utilization. Anim. Feed Sci. Technol. 30: 39-50.
- Regadas Filho, J.G.L., L.O. Tedeschi, A. Cannas, R.A.M. Vieira, M.T. Rodrigues. 2014. Using the small ruminant nutrition system to develop and evaluate an alternative approach to estimating the dry matter intake of goats when accounting for ruminal fiber stratification. J. Dairy Sci. 97: 7185–7196.

- Reyes-Pérez, J.J., Y. Méndez-Martínez, D.M. Verdecia, R.A. Luna-Murillo, L.G. Hernández Montiel, R.S. Herrera. 2018. Componentes del rendimiento y composición bromatológica de tres variedades de *Brachiaria* en la zona El Empalme, Ecuador. *Cuban J. Agric. Sci.* 52(4): 435-445.
- Robinson, P.H. 2007. A new look at energy discounts: Using published studies to calculate discounted net energy values for dairy cows fed ad libitum. *Canadian J. Anim. Sci.* 87: 57–70.
- Rosero, J.R. 2002. Estudo químico, "*in situ*", "*in vitro*" e microscópico da parede celular de cinco genótipos de sorgo colhidos em três épocas de corte. *Ph. D. Thesis*. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais. 148p.
- Rubanza, C.D.K., M.N. Shem, R. Otsyna, S.S. Bakengesa, T. Ichinohe, T. Fujihara. 2005. Polyphenolics and tannins effect on *in vitro* digestibility of selected *Acacia* species leaves. *Anim. Feed Sci. Technol.* 119: 129-142.
- Salami, S.A., G. Luciano, M.N. O'Grady, L. Biondi, C.J. Newbold, J.P. Kerry, A. Priolo. 2019. Sustainability of feeding plant by-products: A review of the implications for ruminant meat production. *Anim. Feed Sci. Technol.* 251: 37–55.
- Salman, F.M., Y.A.A. El-Nameary, A.A. Abedo, H.H. Abd El-rahman, M.I. Mohamed, S.M. Ahmed. 2014. Utilization of artichoke (*Cynara scolymus*) by-products in sheep feeding. *Am. J. Agric. Environ. Sci.* 14: 624–630.
- Seifried, N., H. Steingass, W. Schipprack, M. Rodehutschord. 2016. Variation in ruminal *in situ* degradation of crude protein and starch from maize grains compared to *in vitro* gas production kinetics and physical and chemical characteristics. *Arch. Anim. Nutr.* 70: 333–349.
- Seifried, N., H. Steingass, N. Hoffmann, M. Rodehutschord. 2017. *In situ* starch and crude protein degradation in the rumen and *in vitro* gas production kinetics of wheat genotypes. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 101: 779-790.
- Seresinhe, T., S.A.C Madushika, Y. Seresinhe, P.K. Lal, E.R. Orskov. 2012. Effects of tropical high tannin non legume and low tannin legume browse mixtures on fermentation parameters and methanogenesis using gas production technique. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 25: 1404-1410.
- Sharma, K., N. Mahato, M.H. Cho, Y.R. Lee. 2017. Converting citrus wastes into value-added products: Economic and environmently friendly approaches. *Nutrition.* 34: 29–46.

- Silanikove, N., A. Prevolotsky, F.D. Provenza. 2001. Use of tannin binding chemicals to assay for tannins and their negative effects in ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol.* 9(1–2): 69–81.
- Singh, P., R. Shukla, B. Prakash, A. Kumar, S. Singh, P.K. Mishra, N.K. Dubey. 2010. Chemical profile, antifungal, antiaflatoxigenic and antioxidant activity of *Citrus maxima* Burm. and *Citrus sinensis* (L.) Osbeck essential oils and their cyclic monoterpene, DL-limonene. *Food Chem. Toxicol.* 48: 1734–1740.
- Soltan, Y.A., N.M. Hashem, A.S. Morsy, K.M. El-Azrak, A. El-Din, A. Nour, S.M. Sallam. 2017. Comparative effects of *Moringa oleifera* root bark and monensin supplementations on ruminal fermentation, nutrient digestibility and growth performance of growing lambs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 235: 189–201.
- Storm, I., A. Hellwing, N. Nielsen, J. Madsen. 2012. Methods for measuring and estimating methane emission from ruminants. *Animals.* 2: 160–183.
- Tebot, I., C. Cajarville, J.L. Repetto, A. Cirio. 2012. Supplementation with non-fibrous carbohydrates reduced fiber digestibility and did not improve microbial protein synthesis in sheep fed fresh forage of two nutritive values. *Animal.* 6: 617–623.
- Tedeschi, L.O., A. Cannas, D.G. Fox. 2010. A nutrition mathematical model to account for dietary supply and requirements of energy and other nutrients for domesticated small ruminants: The development and evaluation of the small ruminant nutrition system. *Small Rumin. Res.* 89: 174–184.
- Tikam, K., C. Phatsara, C. Sorachakula, T. Vearasilp, S. Samiprem, A. Cherdthong, K. Gerlach, K.-H. Südekum. 2015. *In vitro* gas production, *in vivo* nutrient digestibilities, and metabolisable energy concentrations for sheep of fresh and conserved pangola grass. *Small Rumin. Res.* 128: 34–40.
- Tilley, J.M.A., R.A. Terry. 1963. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *Grass Forage Sci.* 18: 104–111.
- Trujillo, A.I., M. Bruni, P. Chilbroste. 2017. Nutrient content and nutrient availability of sorghum wet distiller's grain in comparison with the parental grain for ruminants. *J. Sci. Food Agric.* 97: 2353–2357.
- Vásquez, A.N. 2014. Determinación de fracciones de carbohidratos y proteínas y del valor nutricional de pasto Buffel (*Cenchrus ciliaris* L) asociado con dos subproductos agroindustriales. Universidad Autónoma de Nuevo León, Gral. Escobedo, N.L. México, p. 104.

- Velázquez, A.J., M. González Ronquillo, J. Bórquez, I.A. Domínguez, R. Perezgrovas. 2011. Chemical composition and *in vitro* gas production of diets with *Acacia farnesiana* pods. Arch. Zootec. 60(231): 637-645.
- Velázquez, A.J., M. González Ronquillo, R. Perezgrovas, J. Bórquez, V. Domínguez. 2011. Producción, digestibilidad y rentabilidad en corderos de dietas con vainas de *A. farnesiana*. Arch. Zootec. 60(231): 479-488.
- Villarreal, M., R.C. Cochán, A. Rojas- Bourrillón, O. Murillo, H. Muñoz, M. Pore. 2006. Effect of supplementation with pelleted citrus pulp on digestibility and intake in beef cattle fed a tropical grass-based diet (*Cynodon nlemfuensis*). Anim. Feed Sci. Technol. 125: 163-173.
- Wadhwa, M., K. Kaur, N. Sukhchain. 2010. Nutritional evaluation of new oats variety as fodder. Indian J. Anim. Sci. 80(10): 1011-1013.
- Wiley, J.S., M.K. Petersen, R.P. Ansotegui, R.A. Bellows. 1991. Production from first-calf beef heifers fed a maintenance or low level of prepartum nutrition and ruminally undegradable or degradable protein postpartum. J. Anim. Sci. 69: 4279–4293.
- Williams, S.R.O., A.V. Chaves, M.H. Deighton, J.L. Jacobs, M.C. Hannah, B.E. Ribaux, G.L. Morris, W.J. Wales, P.J. Moate. 2018. Influence of feeding supplements of almond hulls and ensiled citrus pulp on the milk production, milk composition, and methane emissions of dairy cows. J. Dairy Sci. 101: 2072–2083.
- Winichayakul, S., Z. Beechey-Gradwell, S. Muetzel, G. Molano, T. Crowther, S. Lewis, H. Xue, J. Burke, G. Bryan, N.J. Roberts. 2020. *In vitro* gas production and rumen fermentation profile of fresh and ensiled genetically modified high-metabolizable energy ryegrass. J. Dairy Sci. 103: 2405-2418.
- Zapata, C.C., M.J. García, C.J. Salinas, V.J. Ascacio, M.M. Medina, M. Mellado. 2020. Chemical composition and nutritional value of leaves and pods of *Leucaena leucocephala*, *Prosopis laevigata* and *Acacia farnesiana* in a xerophilous shrubland. Emir. J. Food Agric. 32(10): 723-730.
- Zarza-Albarrán, M.A., A. Olmedo-Juárez, R. Rojo-Rubio, P. Mendoza-de Gives, M. González-Cortazar, D. Tapia-Maruri, J. Mondragón-Ancelmo, C. García-Hernández, E.A. Blé-González, A. Zamilpa. 2020. Galloyl flavonoids from *Acacia farnesiana* pods possess potent anthelmintic activity against *Haemonchus contortus* eggs and infective larvae. J. Ethnopharm. 249: 8378-8741.